

Efecto del ácido indolbutírico, del tipo de la cama de arraigamiento, del sustrato, y del árbol madre en la capacidad de arraigamiento de estacas de *Nothofagus glauca* (Phil.) Krasser

Effect of indolebutyric acid, bottom heat, substrate, and parent tree on rooting capacity of *Nothofagus glauca* (Phil.) Krasser stem cuttings

RÓMULO SANTELICES¹ & ÁNGEL CABELLO²

¹ Departamento de Ciencias Forestales, Centro de Investigación en Biotecnología Silvoagrícola, Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales, Universidad Católica del Maule, Casilla 617, Talca, Chile; e-mail: rsanteli@ucm.cl

² Departamento de Silvicultura, Facultad de Ciencias Forestales, Universidad de Chile, Casilla 9206, Santiago, Chile; e-mail: acabello@uchile.cl

RESUMEN

Nothofagus glauca (Phil.) Krasser es una especie característica de la zona mesomórfica de Chile que tiene problemas de conservación y de la cual existe insuficiente información sobre técnicas de propagación vegetativa; por ello se estudiaron algunos aspectos relacionados con el arraigamiento de estacas. A partir de material cosechado en noviembre de 1995 y de 1997, se evaluó el efecto del ácido indolbutírico (AIB) (0; 0,5; 1; 2 %); del tipo de cama de arraigamiento (caliente y fría); del sustrato empleado (aserrín y corteza de *Pinus radiata* D. Don); y del árbol madre. Los ensayos, de 2,5 a 4 meses de duración se realizaron en un invernadero equipado con un sistema de riego automatizado y con cama caliente que mantuvo una temperatura entre 21 y 25 °C en la base de las estacas. Los resultados mostraron que *N. glauca* puede propagarse por estacas de material juvenil provenientes de rebrotes de tocón, colectadas en el mes de noviembre. La respuesta de arraigamiento aumentó a medida que la concentración de AIB alcanzó hasta 1 % (88 % de estacas enraizadas), para luego disminuir con una concentración de 2 %. La presencia de hojas fue fundamental en la respuesta, ya que estacas sin ellas no indujeron raíces ni sobrevivieron. El empleo de cama caliente no mostró ningún efecto en el proceso de rizogénesis, por lo que no se justifica su uso. Respecto del sustrato, solo se observaron diferencias significativas en el número de raíces producidas, siendo más favorable emplear aserrín. Finalmente, se observa una marcada influencia del árbol madre en la formación de raíces adventicias, lo que no solo se manifiesta en la tasa de enraizamiento (de 6,7 a 80 %), sino que también en la cantidad y longitud de las raíces desarrolladas.

Palabras clave: *Nothofagus glauca*, estacas, ácido indolbutírico, sustrato, árbol madre.

ABSTRACT

Nothofagus glauca (Phil.) Krasser is a tree of conservation concern that is characteristic for the mesomorphic zone of Chile. Techniques for vegetative propagation of this species are not well known. In this study, the rooting capacity of stem cuttings was investigated. Using vegetative material collected in November 1995 and 1997, the effect of indolebutyric acid (IBA = 0, 0.5, 1, and 2 %), bed rooting system (bottom heating and without temperature control), substrate (sawdust and bark compost of *Pinus radiata* D. Don), and parent tree on rhizogenesis was analyzed. Experiments were conducted for 2.5-4 months in a greenhouse. The greenhouse was equipped with an automatic misting system and bottom heating that maintained a temperature of 21-25 °C at the stem base. Results indicate that *N. glauca* can be propagated from stem cuttings collected from root sprouts in November. Rooting capacity increased with IBA concentrations up to 1 % (88 % of the stem cuttings presented rooting), and decreased at a concentration of 2 %. The presence of leaves was fundamental for the survival and rhizogenesis – only those stem cuttings with leaves managed to survive and induce root formation. No effect of basal temperature was noted on the rooting capacity consequently, temperature controlled rooting beds are not necessary. Sawdust produced more roots and was the most effective substrate. A marked influence of the parent tree on rooting capacity was observed as well in terms of the percentage of cuttings with roots (6.7-80 % rooting) as in length and quantity of the developed roots.

Key words: *Nothofagus glauca*, cuttings, indolebutyric acid, substrate, parent tree.

INTRODUCCIÓN

Nothofagus glauca (Phil.) Krasser es una especie nativa característica de la zona mesomórfica de Chile, que en los dos últimos siglos ha estado sujeta a constantes disturbios. De continuar estos mecanismos podrían llevarla a la categoría en peligro de extinción (Benoit 1989). Para mejorar el estado de conservación en que se encuentran estos bosques, una de las primeras preocupaciones debería centrarse en las formas de reproducción. Es aquí donde la propagación vegetativa, particularmente el arraigamiento de estacas, puede usarse como una herramienta para reproducir material genético de alto valor que podría emplearse para el enriquecimiento de estos bosques.

Existe información sobre el enraizamiento de estacas para varias especies del género *Nothofagus* (Silva 1968, Hogrebe 1973, Becker & Dautzenberg 1978, Bärtels 1989, Mebus 1993, Santelices 1993, 2005, Latsague & Lara 2003, Santelices & García 2003). Sin embargo, son aún escasos los antecedentes que se presentan para *N. glauca* y solo se conoce preliminarmente la influencia que tiene la aplicación del AIB y de la época de cosecha del material a propagar sobre el arraigamiento (Mebus 1993).

Algunos factores que afectan la propagación por estacas son, entre otros, el tipo de cama de arraigamiento (caliente o fría), el sustrato empleado y el árbol madre u "ortet" del cual se obtiene el material vegetal.

Al aplicar a las estacas una temperatura mayor en la base que en las yemas, muchas veces se estimula el enraizamiento (Hartmann & Kester 1998). Las camas calientes de arraigamiento pueden llegar a ser determinantes en el aumento de la capacidad rizogénica, logrando con su uso una mayor cantidad y rapidez en la formación de raíces (Krüssmann 1981). Para algunas especies del género *Nothofagus*, Santelices (1993) y Santelices & García (2003) han empleado camas calientes a una temperatura fija de 21 °C, logrando diferentes grados de enraizamiento.

Existen variados tipos de sustratos, siendo los más utilizados turba, musgo, corteza humificada, aserrín, vermiculita, perlita y arena. Actualmente, en Chile es común el uso de la corteza como sustituto de la turba, ya sea en forma individual o mezclada con perlita. Si

bien es cierto que no existe un sustrato ideal (depende de cada especie), es conocida su incidencia en la calidad de las raíces. Así, las estacas de una especie pueden desarrollar raíces de diferente longitud y cantidad, dependiendo del sustrato a utilizar (Bärtels 1989). Una formación rápida de raíces ocurre en la mayoría de los casos cuando el sustrato es ligero, suelto, esterilizado, de temperatura templada y de humedad continua pero no excesiva, ya que la falta de oxígeno es perjudicial (Wright 1964).

El arraigamiento de estacas para algunas especies está condicionado por el árbol madre de donde provienen. Para muchas de ellas hay un factor genético que limita el proceso de rizogénesis, existiendo clones con mayor o menor capacidad para producir raíces adventicias. Por ejemplo, con algunos clones de *Eucalyptus globulus*, *E. camaldulensis* y *N. alessandrii* se pueden conseguir altas tasas de arraigamiento, pero con otros puede llegar a ser nula (Rojas et al. 1987, Santelices & Romero 2004, Santelices 2005).

Ante la escasez de información sobre técnicas de arraigamiento de estacas de *N. glauca*, el propósito de este estudio es comparar y complementar el efecto del AIB en el proceso de formación de raíces adventicias con los antecedentes existentes y, por otra parte, analizar el efecto del tipo de cama de arraigamiento, del sustrato y del árbol madre, en el proceso de rizogénesis.

MATERIALES Y MÉTODOS

Origen del material vegetal e infraestructura empleada

Las estacas fueron colectadas de un bosque raleado de más de veinte años de edad del predio "Cordillera" (35°39'15" S, 71°15'40" W, 485 m de altitud), de propiedad de la Universidad Católica del Maule, ubicado en los faldeos de la cordillera de los Andes en la localidad El Colorado, comuna de San Clemente, provincia de Talca, Región del Maule. Los esquejes utilizados, de alrededor de 30 cm de longitud, se obtuvieron de la zona apical de rebrotes de tocón de uno o dos años, de los árboles extraídos en el raleo. Presentaban yemas apicales y características semileñosas.

Los ensayos se realizaron en camas calientes (21 y 25 °C) y frías (temperatura ambiente) al interior de un invernadero tipo túnel, recubierto con polietileno, perteneciente a la Universidad Católica del Maule, en la ciudad de Talca. La frecuencia y cantidad del riego, aplicado mediante un sistema de aspersión automatizado (“microjet”), varió de acuerdo a las condiciones climáticas, intentando mantener una alta humedad relativa y que la temperatura ambiental no sobrepasara 30 °C. Tanto la temperatura ambiental como la de las camas de arraigamiento se monitoreó periódicamente mediante el uso de termómetros.

Como sustrato se utilizó aserrín de *Pinus radiata* hervido en agua durante media hora para eliminar toxinas y hongos, y el pH se ajustó en un rango de 7,1 a 7,3. Además, como parte de uno de los tratamientos se utilizó corteza compostada de *P. radiata*, pH 6,7.

Procesamiento de estacas y arraigamiento

La cosecha del material vegetal se efectuó durante las mañanas entre las 9 y 10 h y se transportó hasta el invernadero en cajas de poliestireno para evitar la deshidratación. Se mantuvieron durante 18 h a 4 °C, con el propósito de inhibir durante ese tiempo sus procesos metabólicos.

Los ensayos se instalaron durante las mañanas, no más allá de las 10:30 h. Todas las estacas se dimensionaron de 20 cm de longitud, tratando que incluyeran tres yemas y tuvieran diámetros homogéneos. A cada estaca se le midió el diámetro, la altura y se determinó el número de hojas y yemas. El corte en la base de las estacas se efectuó en un ángulo de 45° con ellas sumergidas en agua. Además, se realizó una incisión para estimular el desarrollo de raíces. Posteriormente, fueron asperjadas con una solución conteniendo 30 g del fungicida sistémico Strepto plus (sulfato de estroptomina 20 g, oxitetraciclina clorhidrato 3,2 g, inertes cantidad estándar para 100 g) y 18 g de otro de contacto llamado Dithane M-45 (mancozeb 80 % p/p, inertes 20 % p/p) en 15 L de agua.

Las estacas se insertaron en el sustrato a una profundidad de aproximadamente 5 cm. Previamente, sus bases se sumergieron en agua y luego a cada una se le aplicó AIB en los

primeros 2,5 a 3 cm, de acuerdo a las concentraciones establecidas para los diferentes ensayos.

Las diferentes concentraciones de la auxina se prepararon de acuerdo a los antecedentes proporcionados por Santelices (1993). El AIB se diluyó en unas gotas de alcohol etílico al 90 %, luego en agua destilada y posteriormente se mezcló con talco inerte, hasta lograr una mezcla homogénea. La mezcla se dejó reposar entre cuatro y siete días en una estufa a 22 °C, teniendo la precaución de que la temperatura no superara los 24 °C para evitar la degradación del AIB. Transcurrido este período, el agua se evaporó y la auxina quedó dispersada homogéneamente en el talco.

Como medida preventiva se aplicó semanalmente la mezcla de los fungicidas Dithane M-45 y Strepto plus, en la misma concentración señalada anteriormente. Dos veces por semana se asperjó con abono foliar Bayfolan 250 SL que contiene los macroelementos nitrógeno (11 % p/v), anhídrido fosfórico (8 % p/v), óxido de potasio (6 % p/v) y los microelementos hierro, manganeso, boro, cobre, zinc, níquel, cobalto, molibdeno, cloro, sodio, azufre, vitamina B1, auxinas y sustancia tampón. La dosis empleada fue de 30 mL en 15 L de agua.

Al final de cada ensayo se evaluó estadísticamente la sobrevivencia de las estacas (%), la capacidad de arraigamiento (%), el número de raíces promedio por estaca y su longitud (cm). Con el propósito de normalizar aquellas variables expresadas en porcentaje, antes de efectuar los análisis de varianza, fueron transformadas en valores angulares con la fórmula $y' = \arcsin \sqrt{p}$ (Ostle 1992). Los análisis de varianza y las comparaciones de medias se realizaron usando el programa estadístico SAS System para Windows V. 6.12.

Efecto de la concentración del AIB

Por medio de un diseño estadístico en bloques completamente aleatorizados de efectos fijos se analizó el efecto del AIB sobre el enraizamiento. Las concentraciones ensayadas fueron 0; 0,5; 1; y 2 %; se utilizaron 21 estacas por unidad experimental y tres repeticiones por tratamiento. Las estacas fueron cosechadas a fines de noviembre de 1995, y el periodo de enraizamiento fue de cuatro meses. Al iniciar el

ensayo las estacas medían entre 21,1 y 21,9 cm de longitud, 2,1 a 2,4 mm de diámetro y presentaban 7,4 a 8,4 hojas.

Efecto del tipo de cama de arraigamiento y del substrato

Con material cosechado en noviembre de 1997, se estudió el efecto del tipo de cama de arraigamiento (caliente con una temperatura entre 21 y 25 °C y fría a temperatura ambiente) y del substrato empleado (aserrín y corteza) sobre el enraizamiento. Se aplicó un diseño estadístico en parcelas divididas en bloques completamente aleatorizados de efectos fijos. Cada unidad experimental contó con 21 estacas, con tres repeticiones por tratamiento. Todas las estacas fueron tratadas con AIB al 1 %, dispersado en talco, y se mantuvieron por dos meses y medio en las camas de enraizamiento. Las medidas iniciales promedio de las estacas fueron: 20,1 a 20,2 cm de longitud, 2,5 a 2,6 mm de diámetro, 6,7 a 7,7 hojas por estaca y 1,1 a 1,4 yemas.

Efecto del árbol madre

Se evaluó el efecto del árbol madre (10 ejemplares) sobre el proceso de rizogénesis, con material cosechado en noviembre de 1997. Por la dificultad de encontrar suficiente material vegetal, las unidades experimentales de cada clon estuvieron constituidas por cinco estacas, con tres repeticiones; el diseño estadístico correspondió a bloques al azar de efectos fijos. Todas las estacas se trataron con AIB dispersado en polvo al 1 % de concentración, y se cultivaron por dos meses y medio. Las medidas iniciales fueron: 20,1 a 20,9 cm de longitud, 2,2 a 3,2 mm de diámetro, 3,3 a 6,9 hojas y 0,3 a 3,6 yemas por estaca.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Efecto de la concentración de auxina

Se obtuvo una adecuada tasa de sobrevivencia y se encontraron marcadas diferencias en la capacidad rizogénica de las estacas producto del efecto de la aplicación de AIB (Tabla 1). Con las estacas tratadas con AIB al 1 %, se obtuvo la mayor tasa de enraizamiento (71,7

%), resultado que, de acuerdo a lo sostenido por Easley & Lambeth (1989), puede considerarse como operacionalmente aceptable. Es común que al aumentar la concentración de auxina también lo haga la inducción de raíces, hasta llegar a un máximo y luego disminuir (Wasser & Ravetta 2000), formándose así lo que se conoce como curva óptima (Barceló-Coll et al. 2001). Para *N. glauca* al aumentar la concentración de AIB hasta un 1 %, también se incrementa significativamente la tasa de enraizamiento, para luego decrecer (Tabla 1). Esto sugiere que la mejor dosis estaría entre 0,5 y 2 % de ácido indolbutírico, posiblemente en torno al 1 %. La aplicación de AIB no afectó la formación de callo, así como tampoco la longitud de las raíces iniciadas, pero sí lo hizo significativamente con respecto a la cantidad de raíces.

Al comparar la sobrevivencia con el enraizamiento, queda de manifiesto que algunas estacas que llegaron a formar raíces, posteriormente murieron. Es probable que al haber empleado estacas poco lignificadas, ellas resultarían deshidratadas y muertas con las altas temperaturas de verano, a pesar de que contaron con abundante riego. Por otra parte, no todas las estacas que sobrevivieron lograron inducir raíces. Aquellas tratadas con 0 y 0,5 % de AIB, llegaron a enraizar un 80 y 95 %, respectivamente; en cambio, con los otros dos tratamientos todas las estacas vivas formaron raíces. Probablemente, para *N. glauca* se requiera de una concentración superior a 0,5 % de AIB para que todas las estacas que sobrevivan lleguen a formar raíces adventicias. Con *N. alpina* y *N. obliqua* se han conseguido tasas de un 50 % de arraigamiento al aplicar AIB en dosis de 4 % (Hogrebe 1973).

Todas las estacas que enraizaron retuvieron sus hojas, lo que concuerda con un estudio en el que se muestra una alta correlación positiva entre el porcentaje de hojas retenidas y la formación de raíces en las estacas (Hartmann & Kester 1998).

Al aplicar la auxina en una concentración igual al 0,5 % se obtuvo un 50 % de arraigamiento, por lo cual comparativamente los resultados coinciden con los obtenidos por Mebus (1993), quien al cosechar estacas en el mes de noviembre y tratarlas con una dosis de AIB al 0,4 % obtuvo un 45 % de arraigamiento. Este resultado indicaría que no hay grandes

diferencias en la forma de aplicar el regulador de crecimiento. En este estudio se dispersó en polvo y Mebus (1993) lo diluyó en alcohol. También coinciden con los resultados del autor mencionado, la cantidad y longitud de las raíces producidas como consecuencia de la aplicación de AIB, al igual que con los de Santelices (1993) para *N. alpina*.

La época de colecta y el tratamiento de las estacas concuerda con el empleado por Silva (1968) y Becker & Dautzenberg (1978), quienes propagaron con éxito estacas de *N. alpina* cosechadas en primavera, aunque usaron diferentes reguladores de crecimiento y concentraciones. Pijut & Moore (2002), al trabajar con estacas cosechadas al inicio del período de crecimiento vegetativo, es decir semileñosas como las de este estudio, y al aplicar 1,4 % de AIB consiguieron un 88 % de arraigamiento para *Juglans cinerea*.

Nuevamente quedó en evidencia que, tal como lo sostuvieron Priestley & Swingle (1929), la formación de callo no necesariamente precede a la de las raíces. Sin embargo, se aprecia una correlación entre ambas variables, sobre todo con la aplicación del regulador de crecimiento.

La tasa de arraigamiento sin aplicar AIB llegó casi a un 42 %, pero la cantidad de raíces obtenidas fue significativamente menor que con los demás tratamientos. Es probable que en la época en que se cosecharon las estacas, período

de máximo crecimiento vegetativo, el nivel interno de auxinas promotoras de las raíces adventicias para esta especie fuera alto, ya que las yemas y hojas son grandes productores de auxinas (Hartmann & Kester, 1998). Sin embargo, no todos los *Nothofagus* tienen el mismo comportamiento. Estacas de *N. alessandrii* cosechadas en el mismo período que la especie en estudio y sin la aplicación de AIB, no forman raíces adventicias (Mebus 1993).

El enraizamiento no estaría condicionado a la presencia de un anillo continuo de esclerénquima situado en el exterior del punto de origen de las raíces. A pesar de que a todas las estacas se les efectuó una herida en sus bases, lo cual rompería este anillo, la formación de las raíces no se produjo a través de ese punto, sino que en diferentes partes alrededor de la base de las estacas, sin que se observara alguna tendencia. Tsipouridis et al. (2005) observaron un incremento en el arraigamiento, por sobre un 29 %, en aquellas estacas tratadas con una herida de 1 cm en sus bases, respecto de las control. Sin embargo, estos autores mantuvieron previamente las estacas a 2 °C durante 70 días antes de tratarlas. Si no se hubieran tratado todas las estacas de *N. glauca* con una herida en sus bases, la tasa de arraigamiento podría haber sido inferior a la obtenida, razón por la cual sería aconsejable comparar ambos tratamientos para esta especie.

TABLA 1

Efecto del ácido indolbutírico en la rizogénesis de estacas de *N. glauca* cosechadas en noviembre de 1995 después de 16 semanas de tratamiento en invernadero. Los valores promedios representados por letras minúsculas distintas (asignadas según pruebas de Tukey) difieren entre sí a un nivel de significancia (según ANDEVA) de $P < 0,05$. Se utilizó aserrín de *P. radiata* como sustrato

Effect of indolebutyric acid on the rooting capacity of *N. glauca* cuttings collected in November, 1995 after 16 weeks treatment in a greenhouse. Letters are used to indicate differences that are statistically significant according to Tukey tests ($P < 0.05$). Pine saw dust (*Pinus radiata*) was used as substrate material

Concentración AIB (%)	Sobrevivencia (%)	Formación de callo (%)	Arraigamiento (%)	Producción de raíces	
				Cantidad (número)	Longitud (cm)
0	28,3 a	35,0 a	41,7 c	2,5 b	5,7 a
0,5	45,0 a	46,7 a	50,0 bc	16,9 a	8,1 a
1	66,7 a	71,7 a	71,7 a	16,4 a	6,0 a
2	40,0 a	46,7 a	58,3 b	13,6 a	6,1 a

Efecto del tipo de cama de arraigamiento y substrato

No se observó una interacción positiva entre los factores estudiados por lo cual fueron analizados por separado.

Con respecto al tipo de cama de arraigamiento, no hubo diferencias significativas entre el cultivo en cama caliente y cama fría para ninguno de los parámetros medidos (Tabla 2). Lo anterior se contrapone con lo señalado por Krüssmann (1981), quien sostiene que al usar cama caliente al menos se mejora la calidad de las raíces producidas, ya sea en términos de cantidad o longitud. Al respecto, Santelices (1997) al usar camas fría y caliente no encontró diferencias en la tasa de arraigamiento de estacas de *Drimys winteri*, pero al aumentar la temperatura en la base de las estacas, también se incrementó la cantidad y longitud de las raíces. Sin embargo, el resultado de este estudio, concuerda con lo señalado por Dirr & Heuser (1987), quienes sostienen que para la mayoría de las plantas no es necesario utilizar cama caliente de arraigamiento para tener éxito en la iniciación de raíces adventicias, sobre todo con estacas suculentas colectadas en el período estival .

En los dos tipos de cama de arraigamiento las estacas desarrollaron en promedio 24 raíces de 7 cm de longitud (Tabla 2), lo que permite suponer que su posterior cultivo debiera ser viable. Si bien la evaluación final del ensayo se realizó a los 2,5 meses, una gran proporción de estacas ya había formado raíces a los 40 días.

Al comparar los substratos empleados solo se presentaron diferencias estadísticas en la longitud de las raíces (Tabla 2). Al utilizar aserrín se genera una mayor cantidad de raíces y es probable que ello se deba a la diferencia en pH entre ambos substratos. Se sabe que valores neutros favorecen la rizogénesis (Hartmann & Kester 1998), y la corteza presentó un pH levemente ácido (6,7). Las tasas de arraigamiento obtenidas, superiores a 85 %, pueden catalogarse de acuerdo a lo sostenido por Easley & Lambeth (1989) para realizar trabajos a nivel operacional, como aceptables. Esto último haría aconsejable el uso de aserrín de *Pinus radiata* que, al igual que la corteza, es de bajo costo y libre de gérmenes y ha sido utilizado sin problemas en la propagación por estacas de *N. obliqua*, *N. dombeyi* y *N. alpina*, así como de otras especies nativas chilenas como *Laurelia philippiana*, *Persea lingue* y *Podocarpus saligna* (Santelices 1990, 1991 y 1993).

TABLA 2

Efecto del tipo de cama de arraigamiento y del substrato en la rizogénesis de estacas de *N. glauca* cosechadas en noviembre de 1997 después de 10 semanas de tratamiento en invernadero. Los valores promedios representados por letras minúsculas distintas (asignadas según pruebas de Tukey) difieren entre sí a un nivel de significancia (según ANDEVA) de $P < 0,05$. Se utilizó aserrín de *P. radiata* como substrato

Effect of bottom heating and substrate on the rooting capacity of *N. glauca* cuttings collected in November, 1997 after 10 weeks treatment in a greenhouse. Letters are used to indicate differences that are statistically significant according to Tukey tests ($P < 0.05$). Pine saw dust (*Pinus radiata*) was used as substrate material

Tratamiento	Sobrevivencia (%)	Formación de callo (%)	Arraigamiento (%)	Producción de raíces	
				Cantidad (número)	Longitud (cm)
Tipo de cama:					
Caliente	96,8 a	11,9 a	88,1 a	25,1 a	8,0 a
Fría	81,8 a	5,6 a	85,6 a	23,3 a	6,3 a
Substrato:					
Aserrín	84,9 a	4,8 a	85,7 a	27,3 a	7,3 a
Corteza	93,6 a	12,7 a	88,0 a	21,1 b	7,0 a

La proporción de esquejes enraizados fue en promedio casi un 87 %, tratando todas las estacas con AIB al 1 %. En el ensayo donde se evaluó el efecto del AIB, en estacas cosechadas en noviembre de 1995 y al aplicar la misma concentración de la auxina, se obtuvo un 72 % de arraigamiento. La misma tendencia se observa al comparar la sobrevivencia entre ambos ensayos. Esta diferencia podría deberse al tiempo en que las estacas estuvieron sometidas a un golpe de frío (18 h para el ensayo realizado en 1995 y 72 h para el efectuado en 1997). De acuerdo a lo señalado por Hartmann & Kester (1998) y Tsiouridis et al. (2005), ambos lapsos de almacenamiento son considerados breves, por lo cual sería interesante estudiar tiempos de almacenamiento en frío más prolongados y compararlos con los obtenidos en este estudio.

La baja producción de callo en relación con el arraigamiento deja de manifiesto que, para *N. glauca*, estos procesos no estarían relacionados fisiológicamente.

Efecto del árbol madre

Existe una marcada influencia del árbol madre en el proceso de rizogénesis en estacas de *N. glauca* (Tabla 3), especialmente en lo que se refiere a la cantidad de raíces inducidas. En cuanto al porcentaje de arraigamiento solo se observaron diferencias estadísticamente significativas entre los árboles cuatro y ocho. Sin embargo, es necesario mencionar que se manifestó una alta variabilidad entre las repeticiones. Es común que diversos clones de algunas especies presenten grandes diferencias en la capacidad de enraizamiento. Por ejemplo, para *N. alessandrii* se ha observado una fuerte influencia del árbol madre en la generación de raíces adventicias, el que puede variar de 0 a 100 % (Santelices 2005). En *Cupressus sempervirens* se ha observado que con algunos clones se puede llegar a obtener un 88 % de enraizamiento, mientras que con otros no se consigue la inducción de raíces (Capuana et al. 2000). En *E. globulus*, con los protocolos existentes para los mejores clones seleccionados, se obtiene entre un 50 y 72 % de arraigamiento (Santelices & Romero 2004). Si bien es cierto que ninguno de los diez clones de *N. glauca* analizados tuvo una respuesta nula al enraizamiento, este factor debiera ser considerado al diseñar un método de

propagación por esta vía, sobre todo si se intenta realizar algún tipo de mejoramiento.

La diferencia apreciada en la capacidad de enraizamiento de los diferentes clones concuerda con lo observado por Becker & Dautzenberg (1978) para *N. alpina*, quienes registraron tasas de arraigamiento de alrededor de 13 % para un clon, mientras que para otros fue cercana a 2 %. Es probable, entonces, que la capacidad de arraigamiento de algunas especies del género *Nothofagus* esté condicionada genotípicamente.

Por otra parte, la importancia del genotipo también radica en que las semillas de muchas especies del género *Nothofagus* tienen bajas tasas de germinación (Jordan et al. 1996). *N. glauca* presenta ciclos en la semillación, con años de muy baja producción (a veces nula) y otros de alta producción (Donoso 1975). En los años de bajo rendimiento la cantidad de semillas infértiles es alta, pudiendo llegar a tasas de 86 % (Cabello 2004). Una de las causas es el ataque del lepidóptero *Perzelia* sp., que consume el embrión (Morales 1993, Rojas 1996).

Al comparar las tasas de sobrevivencia con las de arraigamiento, se observa que algunos clones pueden enraizar el 100 % de las estacas vivas. En consecuencia, si se pudiera mejorar la sobrevivencia también podría aumentarse la capacidad rizogénica. Al mismo tiempo, varios clones presentaron sobrevivencias muy superiores al enraizamiento, por lo que es probable que si se hubieran mantenido por más tiempo en cultivo, la iniciación de raíces adventicias en las estacas habría sido mayor. Sin embargo, al momento de levantar el ensayo no se observaron primordios radiculares, por lo que sería recomendable ahondar en este aspecto con un estudio histológico.

Se observa una gran diferencia en la cantidad de las raíces inducidas. En general, los clones que obtuvieron los más altos porcentajes de enraizamiento fueron los que formaron un mayor número de raíces y de mayor longitud.

No es posible establecer una relación entre la cantidad de yemas visibles al momento de colectar las estacas y el posterior arraigamiento de ellas. Hubo clones, como el árbol 8, que a pesar de presentar una baja cantidad de yemas visibles tuvo la tasa más alta de enraizamiento. Este hecho es importante, ya que en las yemas se concentran auxinas que promueven la rizogénesis (Hartmann & Kester 1998) y al no estar visibles se dificulta la selección del material vegetal.

TABLA 3

Efecto del árbol madre en la rizogénesis de estacas de *N. glauca* cosechadas en noviembre de 1997 después de 10 semanas de tratamiento en invernadero. Los valores promedios representados por letras minúsculas distintas (asignadas según pruebas de Tukey) difieren entre sí a un nivel de significancia (según ANDEVA) de $P < 0,05$. Se utilizó aserrín de *P. radiata* como sustrato y las estacas fueron tratadas con AIB al 1 %

Effect of parent tree on the rooting capacity of *N. glauca* cuttings collected in November, 1997 after 10 weeks treatment in a greenhouse. Letters are used to indicate differences that are statistically significant according to Tukey tests ($P < 0.05$). Pine saw dust (*Pinus radiata*) was used as substrate material, and cuttings were treated with 1 % indolebutyric acid

Árbol madre (código)	Sobrevivencia (%)	Formación de callo (%)	Arraigamiento (%)	Producción de raíces	
				Cantidad (número)	Longitud (cm)
1	53,3 ab	0	20,0 ab	1,0 b	1,6 a
2	66,7 ab	0	53,3 ab	35,7 ab	5,3 a
3	33,3 ab	0	13,3 ab	11,0 b	2,8 a
4	6,7 b	0	6,7 b	4,3 b	1,6 a
5	80,0 a	0	73,3 ab	35,6 ab	4,3 a
6	80,0 a	0	80,0 ab	46,6 a	6,2 a
7	46,7 ab	0	40,0 ab	19,1 ab	4,1 a
8	80,0 a	0	86,7 a	28,3 ab	5,4 a
9	60,0 ab	0	33,3 ab	14,2 ab	5,1 a
10	80,0 a	0	20,0 ab	10,3 b	3,2 a

La época de cosecha es un factor importante en la habilidad para inducir raíces en estacas de algunas especies de Europa Central de la familia *Fagaceae*, tales como *Fagus sylvatica*, *Quercus robur* y *Q. petraea*. La época óptima es a fines de primavera (mayo y junio en el hemisferio norte) (Spethmann 1982), lo que coincide con los resultados obtenidos.

En Chile, siempre en *N. glauca*, Mebus (1993) también obtuvo buenos resultados en primavera (mediados de noviembre de 1991). Empleando distintas concentraciones de AIB, consiguió los mejores resultados con la dosis más alta (0,4 %), significativamente superior a las restantes, en cuanto a número (1,4) y longitud de raíces (3,4 cm). Sin embargo, dicho autor no consiguió enraizar ninguna estaca en invierno. Algo parecido le ocurrió a Santelices (1998), en ensayos realizados en marzo y agosto de 1995, donde alcanzó un arraigamiento máximo de 0,6 % con dosis de AIB entre 0 % y 2 %, y 0 % de enraizamiento

en un ensayo instalado en enero de 1996 con las mismas concentraciones del regulador de crecimiento.

Se observa una gran diferencia en las tasas promedio de arraigamiento entre los dos ensayos realizados en noviembre de 1997. Para el ensayo tipo de cama de arraigamiento y sustrato se consiguió un 86,9 %, mientras que para el del árbol madre fue de un 42,7 %. Esta desigualdad estaría explicada por la variabilidad en la capacidad de arraigamiento observada entre los diez clones analizados. El material colectado para ambos ensayos se realizó en forma independiente y para evaluar el efecto del árbol madre se seleccionaron en total 15 estacas por cada clon. En cambio, para estudiar la incidencia del tipo de cama de arraigamiento y sustrato se obtuvieron entre tres y cinco estacas por árbol, es decir, de un total superior a 50 árboles. De esta forma se intentó tener una mayor variabilidad entre el material vegetal y así minimizar el efecto del árbol madre.

CONCLUSIONES

Nothofagus glauca (Phil.) Krasser se puede propagar vegetativamente mediante la técnica de enraizamiento de estacas, cosechando material vegetal en noviembre de rebrotes de tocón de árboles de más de 20 años de edad. Las estacas de *N. glauca* tratadas con AIB tuvieron una tasa de enraizamiento y cantidad de raíces formadas significativamente mayor respecto del control carente de la auxina. No se observó un efecto del AIB en la longitud de las raíces. El tipo de cama de arraigamiento (caliente o fría) no tuvo efecto significativo en la inducción y producción de raíces de *N. glauca*. Por un menor costo, es preferible utilizar aquellas sin control de temperatura. Las estacas que se mantuvieron en aserrín de *P. radiata* como sustrato lograron inducir una mayor cantidad de raíces que aquellas que tratadas con corteza compostada de la misma conífera. Para las demás variables los resultados son similares. La presencia de hojas fue fundamental para la sobrevivencia y el proceso de rizogénesis. Solo las estacas de tallo que las mantuvieron, sobrevivieron e indujeron raíces. El proceso de rizogénesis de *N. glauca* podría estar condicionado genotípicamente, razón por lo cual la selección de los árboles madres debería considerarse como un factor fundamental, sobre todo si se piensa realizar algún tipo de mejoramiento utilizando esta técnica. En el proceso de arraigamiento de estacas de *N. glauca* la formación de callo no necesariamente precede a la de las raíces, aunque se aprecia una correlación entre ambas variables.

LITERATURA CITADA

- BARCELÓ-COLL J, G NICOLÁS-RODRIGO, B SABATER-GARCÍA & R SANCHÉZ-TAMÉS (2001) Fisiología vegetal. Ediciones Pirámide, Madrid, España. 566 pp.
- BÄRTELS A (1989) Gehölzvermehrung. Verlag Eugen Ulmer, Stuttgart, Deutschland. 370 pp.
- BECKER A VON & H DAUTZENBERG (1978) Zur Stecklingsvermehrung bei *Nothofagus procera* (Poepp. et Endl) Oerst. *Silvae Genetica* 27: 178-183.
- BENOIT I (ed) (1989) Libro rojo de la flora terrestre de Chile (primera parte). Editorial de la Corporación Nacional Forestal (CONAF), Santiago, Chile. 157 pp.
- CABELLO A (2004) *Nothofagus macrocarpa* "roble de Santiago" y las dificultades de propagación de las especies del género *Nothofagus*. Santiago, Chile. Revista del Jardín Botánico Chagual (Chile) 2: 37-41.
- CAPUANA M, A GIOVANNELLI & R GIANNINI (2000) Factors influencing rooting in cutting propagation of cypress (*Cupressus sempervirens* L.). *Silvae Genetica* 49: 277-281.
- DIRR M & C HEUSER (1987) The reference manual of woody plant propagation, from seed to tissue culture. Varsity Press Inc., Athenas, Georgia, USA. 239 pp.
- DONOSO C (1975) Aspectos de la fenología y germinación de las especies de *Nothofagus* de la zona mesomórfica. Facultad de Ciencias Forestales, Universidad de Chile, Boletín Técnico (Chile) 4: 1-32.
- EASLEY D & C LAMBETH (1989) Potencial de rebrotamiento y enraizado de las procedencias del *Pinus oocarpa* y *Pinus tecunumanii*. Cartón de Colombia, Informe de Investigación (Colombia) 125: 1-9.
- HARTMANN H & D KESTER (1998) Propagación de plantas, principios y prácticas. Editorial Continental, Ciudad de México, México. 760 pp.
- HOGREBE H (1973) *Nothofagus*-Anbauten im Burgholz bei Wuppertal. *Jahrbuch der Deutschen Dendrologischen Gesellschaft* 66: 99-105.
- JORDAN M, J VELOZO & AM SABJA (1996) Organogenesis in vitro of *Nothofagus alpina* (P. et E.) Oerst., Fagaceae. *Plant-Cell-Reports* 15: 795-798.
- KRÜSSMANN G (1981) Die Baumschule. Verlag Paul Parey, Berlin, Deutschland. 656 pp.
- LATSAGUE M & G LARA (2003) Fenoles solubles totales y su relación con la inhibición de la rizogénesis de *Nothofagus pumilio* (Poepp. et Endl.) Krasser. *Gayana Botánica* (Chile) 60: 90-93.
- MEBUS I (1993) Enraizamiento en estacas de *Nothofagus* spp. de la zona mesomórfica de Chile amenazadas de extinción. Tesis de Licenciatura en Agronomía, Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Austral de Chile, Valdivia, Chile. 68 pp.
- MORALES P (1993) Detección e identificación del insecto perforador de semillas de hualo (*Nothofagus glauca* (Phil.) Krasser. Taller de Habilitación Profesional, Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales, Universidad Católica del Maule, Talca, Chile. 31 pp.
- OSTLE B (1992) Estadística aplicada. Duodécima reimpresión. Limusa, México. 629 pp.
- PIJUT PM & MJ MOORE (2003) Early season softwood cuttings effective for vegetative propagation of *Juglans cinerea*. *Horstscience* 37: 697-700.
- PRIESTLEY J & F SWINGLE (1929) Vegetative propagation from the standpoint of the plant anatomy. United States Department of Agriculture, Technical Bulletin (USA) 151: 1-98.
- ROJAS H (1996) Ciclo biológico de *Perzelia* sp. en hualo (*Nothofagus glauca* (Phil.) Krasser). Taller de Habilitación Profesional. Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales, Universidad Católica del Maule, Talca, Chile. 31 pp.
- ROJAS P, P ARCE & M ARRIAGADA (1987) Propagación vegetativa por estacas en *Eucalyptus camaldulensis* Dehn. *Ciencia e Investigación Forestal* (Chile) 1: 1-8.
- SANTELICES R (1990) Propagación vegetativa de tepa (*Laurelia philippiana*) a partir de estacas. *Ciencia e Investigación Forestal* (Chile) 4: 61-68.
- SANTELICES R (1991) Propagación vegetativa de tepa (*Laurelia philippiana*), lingue (*Persea lingue*) y

- maño (*Podocarpus saligna*) a partir de estacas. Ciencia e Investigación Forestal (Chile) 5: 195-202.
- SANTELICES R (1993) Propagación vegetativa de raulí, roble y coihue a partir de estacas. Ciencia e Investigación Forestal (Chile) 7: 37-48.
- SANTELICES R (1997) Efecto de la temperatura del sustrato sobre el arraigamiento de estacas de canelo (*Drimys winteri* J.R. et G. Forster). Ciencias Forestales (Chile) 12/13: 27-32.
- SANTELICES R (1998) Propagación vegetativa del hualo, *Nothofagus glauca* (Phil.) Krasser, mediante estacas procedentes de rebrotes de tocón. Tesis de Magíster en Ciencias Forestales, Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales, Escuela de Postgrado, Universidad de Chile, Santiago, Chile. 108 pp.
- SANTELICES R (en prensa) Efecto del árbol madre sobre la rizogénesis de *Nothofagus alessandrii* Espinosa. Bosque (Chile).
- SANTELICES R & C GARCÍA (2003) Efecto del ácido indolbutírico y la ubicación de la estaca en el rebrote de tocón sobre la rizogénesis de *Nothofagus alessandrii* Espinosa. Bosque (Chile) 24: 53-61.
- SANTELICES R & P ROMERO (2004) Efecto del sustrato en el arraigamiento de estacas de tallo para tres clones de *Eucalyptus globulus* Labill. En: 11^{as} Jornadas Técnicas Forestales y Ambientales (ISSN 16685385). Universidad Nacional de Misiones, Eldorado, Argentina. 6 pp.
- SILVA J (1968) Arraigamiento de estacas de raulí (*Nothofagus alpina* (Poepp. et Endl) Oersted). Tesis de Ingeniería Forestal, Universidad de Chile, Santiago, Chile. 22 pp.
- SPETHMANN W (1982) Stecklingsvermehrung von Laubbaumarten. I. Versuche mit Ahorn, Esche, Eiche, Buche, Kirsche, Linde, Birke. Allgemeine Forst-und Jagdzeitung 153: 13-24.
- TSIPOURIDIS C, T THOMIDIS & Z MICHAILIDIS (2005) Factors influencing the rooting of peach GF677 (peach x almond hybrid) hardwood cuttings in a growth chamber. New Zealand Journal of Crop and Horticultural Science 33: 93-98
- WASSER D & D RAVETTA (2000) Vegetative propagation of *Grindelia chilensis* (Asteraceae). Industrial Crops and Products 11: 7-10.
- WRIGHT J (1964) Mejoramiento genético de los árboles forestales. Estudios de Silvicultura y Productos Forestales, Número 16. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO), Roma, Italia. 436 pp

Editor Asociado: Luis Corcuera

Recibido el 16 de noviembre de 2004; aceptado el 23 de septiembre de 2005