

Propagación vegetativa por estacas

Tipos de estacas

- Tallo
 - Raíz
 - Hoja
- Se separa una porción (del tallo, de la raíz, o de la hoja) de la planta madre y en condiciones favorables se induce la formación de raíces, formando un nuevo individuo.

Ventajas y desventajas

- Captura rápidamente una mayor proporción de la variación genética de la que puede lograrse por cruzamiento.
- Eliminación de los individuos que muestren consanguinidad en las plantaciones de producción.

Ventajas y desventajas

- La reproducción masiva de genotipos valiosos, producto de la hibridación o de la ingeniería genética.
- La capacidad de utilizar otros estados de madurez que no sea el estado juvenil

Ventajas y desventajas

- La capacidad de seleccionar y utilizar una mayor diversidad genética de la que se encuentra normalmente en una sola descendencia.
- La capacidad de utilizar clones bien adaptados a sitios particulares

Ventajas y desventajas

- La mayor simplicidad y flexibilidad de manejar grupos de plantas madre que de manejar huertos semilleros.
- El periodo más corto, en comparación con los huertos semilleros, entre selección y producción.

Ventajas y desventajas

- La reproducción masiva de individuos únicos que presentan dos o más características favorables que normalmente estén negativamente correlacionadas.

Ventajas y desventajas

- Método de bajo costo, rápido y sencillo de realizar (no requiere de las técnicas especiales de otros métodos)

Propagación por estacas

- Estacas de tallo:
 - ✓ Madera dura
 - ✓ Madera semidura
 - ✓ Madera suaves
 - ✓ Herbáceas
- Estacas de hoja
- Estacas de hoja y yema
- Estacas de raíz

Propagación por estacas de tallo

- Estacas de tallo: trozos de tejido separados de la planta madre que tienen algún tipo de yema meristemática activa.

Propagación por estacas de tallo

- Estacas de madera dura: uno de los métodos más fácil y de menor costo. Generalmente se usan en caducifolias => Populus, Salix
- Estacas de madera semidura: Generalmente se usan en siempreverdes de hoja ancha => Ilex

Propagación por estacas de tallo

- Estacas de madera suave: se obtienen del crecimiento primaveral nuevo, con hojas. Requiere equipos para evitar la deshidratación (nebulizadores) => Nothofagus
- Estacas herbáceas: se obtiene de plantas herbáceas, suculentas (no es de mucha utilidad en el campo forestal)

Bases anatómicas del desarrollo de raíces en las estacas

- **Desarrollo radicular:**

- Alta humedad => translocación carbohidratos y reguladores de crecimiento => mayor división celular => condiciones formación de raíces

Bases anatómicas del desarrollo de raíces en las estacas

- **Raíces inducidas o preformadas:**

- Al existir se facilita el proceso de rizogénesis. Ej. álamos, sauces
- Eventualmente podrían existir dificultades con anillos continuos de esclerénquima

Bases anatómicas del desarrollo de raíces en las estacas

- **Callo:**

- Células de un tejido cicatricial indiferenciado
- A través de él emergen las raíces
- Condiciones ambientales similares que para el desarrollo de raíces => procesos paralelos

Bases anatómicas del desarrollo de raíces en las estacas

- **pH:**

- Neutro favorece la rizogénesis
- Con niveles de 11 se inhibe
- Importante el sustrato

Bases anatómicas del desarrollo de raíces en las estacas

- **Cambios bioquímicos:**

- Relación C/N adquiere importancia (almidón)
- Traslocación de carbohidratos y sustancias auxínicas desde regiones meristemáticas hacia la base de la estaca
=> rizogénesis

Bases anatómicas del desarrollo de raíces en las estacas

- **Estructura anatómica del tallo:**

- Anillos continuos de esclerénquima pueden ser una barrera para el enraizamiento
- Anillos discontinuos no hay problema
- Neblina y auxinas => expansión células corteza, floema y cambium => ruptura de los anillos
- Tratamientos mecánicos

Reguladores de crecimiento

Substancias que en pequeñas concentraciones alteran los procesos fisiológicos:

- Auxinas
- Citokinas
- Giberelinas
- Inhibidores (ácido abscísico y etileno)

Auxinas

- Son compuestos necesarios para inducir la rizogénesis. Las más utilizadas son:
 - Ácido indolacético (natural)
 - Ácido indolbutírico (artificial)
 - Ácido naftalénacetico (artificial)

Auxinas

- Las auxinas pueden aplicarse en soluciones de diferentes tipos:
 - Líquidas
 - Dispersadas en polvo
 - Pasta

Auxinas

- Productos comercializados en base a auxinas:
 - Seradix => Inglaterra
 - Rhizopom => Holanda
 - Rootone => Estados Unidos

Auxinas



- Aplicación de AIB en polvo en estacas de *Picea abies*
- Se moja la base del esqueje y luego se coloca en la auxina en forma de polvo

Factores que afectan la propagación por estacas

- ✓ Factores de la estaca
- ✓ Factores ambientales

Factores de la estaca

- Edad del árbol madre
- Condiciones fisiológicas de la planta madre
- Época de cosecha

Factores de la estaca

- Importancia de las hojas y yemas
- Ubicación de la estaca en la copa del árbol
- Tamaño del las estacas

Edad del árbol madre

- Hasta 5 años de edad se puede propagar fácilmente
- Rejuvenecer material vegetal (rebrotos de tocón)
- Aumenta la edad y con ello lo hacen inhibidores de la formación de raíces y se reducen compuestos fenólicos sinergistas (catecol, ácido cafeico)

Edad del árbol madre

- Cosecha de estacas de *Picea abies* de plantas jóvenes en época invernal



Edad del árbol madre



Campo de setos de pino radiata

Edad del árbol madre



Edad del árbol madre

- Ejemplo:
- De 1 semilla de pino radiata se pueden obtener en promedio 40 plantas por arraigamiento de estacas (incluso 100)
 - Año 2: 12 plantas
 - Año 3: 20 plantas
 - Año 4: 25 plantas
 - Año 5: 30 plantas
 - Total : 87 plantas => $87 \times 40 = 3480$ copias de una semilla

Edad del árbol madre



- Estaca de tepa de más de 80 años de edad
- Cosechada de rebrotes de tocón

Edad del árbol madre



- Estaca de tepa de más 80 años de edad proveniente de rebrotes de tocón

Condiciones fisiológicas de la planta madre

- Material vegetal turgente => cosechar en la mañana temprano
- Relación carbohidratos/nitrógeno es importante, mientras más reservas mejor es la respuesta al enraizamiento
- Contenido moderado de N es mejor que en alta o baja cantidad

Condiciones fisiológicas de la planta madre

- Anillando el material vegetal antes de cosecharlo se puede interrumpir y concentrar el flujo de carbohidratos y reguladores de crecimiento

Epoca de cosecha

- Varía con las especies
- En general:
 - Coníferas en invierno
 - Latifoliadas en primavera

Importancia de las hojas y yemas

- Las hojas y yemas tienen altas concentraciones de auxinas, que son traslocadas a la base de las estacas
- Por las hojas la estaca pierde agua => importancia deshidratación
- Las yemas no son importantes en especies con raíces preformadas

Importancia de las hojas y yemas



- Reducir la superficie foliar es importante en algunos casos para evitar pérdidas por deshidratación

Ubicación de la estaca en la copa del árbol

- En algunas especies este factor adquiere importancia y es preferible cosechar el material de los dos tercios inferiores de la copa
- Se recomienda obtener material de ramas con tejidos del último período de crecimiento vegetativo

Tamaño de las estacas

- El tamaño incide en la concentración de carbohidratos
- El tamaño final de la planta a obtener
- Incide en el manejo de las estacas
- Puede variar, en general, de 5 cm a 25 cm

Efecto topófisis

- Un efecto que no altera el arraigamiento de la estaca, pero afecta en etapas posteriores cuando la estaca está establecida.
- Tiene que ver con el crecimiento del ortet, con la posición que ocupa el material a extraer.

Efecto topófisis

- Se define como un fenómeno en que diferentes puntos de crecimiento en distintas partes de un planta pueden perpetuar fases específicas del desarrollo al usarse en propagación vegetativa

Efecto topófisis



- Estaca de pino oregón obtenida de una rama que tiende a crecer de esta forma.
- Después de varios periodos de "guía" tiende a crecer definitivamente en forma vertical

Factores ambientales

- Substrato
- Humedad
- Temperatura
- Luminosidad

Substrato

- Cumple funciones de drenaje, aireación y soporte de las estacas
- Tipos de Substrato: Suelo, Arena, Turba, Musgo, Vermiculita, Perlita, Piedra pómez, Tierra de hojas, Corteza humificada, Aserrín, Viruta de madera, Piedrecillas de río (Kies), e incluso agua (aunque con aireación)

Substrato

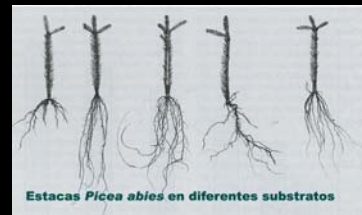
- El substrato incide en la calidad de las raíces
- No existe un substrato ideal, varía con la especie

Substratos



- Estacas de *Picea abies* cultivadas en kies (piedrecillas de río) bajo condiciones de invernadero)

Substratos



Desarrollo de las raíces en función del substrato

Humedad

- La estaca no tiene un sistema de raíces para absorber agua
- Para evitar la deshidratación es ideal mantener un ambiente cercano al punto de saturación
- Se mejoran las condiciones con una cubierta plástica

Humedad



Riego en forma de niebla

Temperatura

- Ayuda en los procesos fisiológicos
- Ideal 21-27°C en el día y 15°C en la noche
- Camas calientes entre 18 y 28°C permiten mayor rapidez del proceso de rizogénesis y mayor cantidad y longitud de las raíces

Temperatura



- Cama caliente de arraigamiento temperada con agua y regulada con termostatos

Temperatura



- Cama fría de arraigamiento para *Picea abies*, bajo condiciones de invernadero

Luminosidad

- Fotosíntesis => generación productos necesarios en la rizogénesis
- Material proveniente de plantas madres sometidas a baja intensidad luminosa tienen mejores respuesta que con alta luminosidad
- Luz destruye auxinas

Luminosidad



- Estaca de *Saxegotaea conspicua* cosechada de regeneración natural bajo dosel



Resultados con algunas especies nativas de importancia en la Región Central de Chile

Efecto del AIB en la sobrevivencia y arraigamiento de las estacas de *Peumus boldus*

Concentración AIB (%)	Sobrevivencia (%)	Arraigamiento (%)
0	53 a	15 a
0,5	38 a	10 a
1	28 a	5 a
2	25 a	15 a

Fuente: Santelices y Bobadilla, 1997

Efecto del AIB en la formación de callo y raíces en las estacas de *Peumus boldus*

Concentración AIB (%)	Formación de Callo (%)	Producción de Raíces	
		Cantidad (N°)	Longitud (cm)
0	45 a	3,6 a	1,7 a
0,5	33 a	4,9 a	3,8 a
1	15 a	1,8 a	2,0 a
2	18 a	3,8 a	3,6 a

Fuente: Santelices y Bobadilla, 1997

Efecto de la temperatura en la sobrevivencia y arraigamiento de las estacas de *Drymis winteri*

Temperatura Substrato	Sobrevivencia y arraigamiento (%)
Ambiente	98 a
18°C	94 a
21°	87 a
24°	95 a

Fuente: Santelices, 1993

Efecto de la temperatura en la inducción de raíces de las estacas de *Drymis winteri*

Temperatura Substrato	Producción de Raíces	
	Cantidad (N°)	Longitud (cm)
Ambiente	6,1 a	0,5 a
18°C	4,7 a	0,5 a
21°	16,0 a	1,7 a
24°	26,0 a	3,2 a

Fuente: Santelices y Bobadilla, 1997

Efecto del AIB en el arraigamiento de las estacas de *Quillaja saponaria*

Concentración AIB (%)	Arraigamiento (%)	Producción de Raíces	
		Cantidad (N°)	Longitud (cm)
0	27 a	5,2 a	8,4 a
0,5	45 a	6,4 a	9,9 a
1	39 a	11,3 a	9,2 a
2	22 a	7,9 a	6,3 a

Fuente: Santelices y Bobadilla, 1997

Efecto de la posición de la estaca en la copa del árbol en el arraigamiento de las estacas de *Quillaja saponaria*

Posición en el árbol	Arraigamiento (%)	Producción de Raíces	
		Cantidad (N°)	Longitud (cm)
Apical	19 b	6,5 a	6,6 a
Media	40 a	9,6 a	10,2 a
Basal	41 a	7,0 a	7,8 a

Fuente: Santelices y Bobadilla, 1997

Efecto del AIB en la sobrevivencia y arraigamiento de las estacas de *Nothofagus dombeyi* cosechadas en julio

Concentración AIB (%)	Sobrevivencia (%)	Arraigamiento (%)
0,5	51 a	29 a
1	32 b	6 b
1,5	40 ab	29 a

Fuente: Santelices, 1993

Efecto del AIB en la inducción de raíces de las estacas de *Nothofagus dombeyi* cosechadas en julio

Concentración AIB (%)	Producción de Raíces	
	Cantidad (N°)	Longitud (cm)
0,5	7,1 a	8,0 ab
1	5,0 a	4,2 a
1,5	8,3 a	9,0 a

Fuente: Santelices, 1993



Estaca de *N. dombeyi*



Efecto del AIB en la sobrevivencia y arraigamiento de las estacas de *Nothofagus glauca* cosechadas en noviembre

Concentración AIB (%)	Sobrevivencia (%)	Arraigamiento (%)
0	28 a	42 c
0,5	45 a	50 bc
1	67 a	72 a
2	40 a	58 b

Fuente: Santelices y Cabello, 2006

Efecto del AIB en la formación de callo y raíces en las estacas de *Nothofagus glauca* cosechadas en noviembre

Concentración AIB (%)	Formación de Callo (%)	Producción de Raíces	
		Cantidad (N°)	Longitud (cm)
0	35 a	2,5 b	5,7 a
0,5	47 a	16,9 a	8,1 a
1	72 a	16,4 a	6,0 a
2	47 a	13,6 a	6,1 a

Fuente: Santelices y Cabello, 2006

Efecto del tipo de cama de arraigamiento y del sustrato en la sobrevivencia y enraizamiento en estacas de *Nothofagus glauca* cosechadas en noviembre

Tratamiento	Sobrevivencia (%)	Arraigamiento (%)
Tipo de cama:		
• Caliente	97 a	88 a
• Fría	82 a	86 a
Sustrato:		
• Aserrín	85 a	86 a
• Corteza	94 a	88 a

Fuente: Santelices y Cabello, 2006

Efecto del tipo de cama de arraigamiento y del sustrato en la inducción de raíces en estacas de *Nothofagus glauca* cosechadas en noviembre

Tratamiento	Callo (%)	Producción de Raíces	
		Cantidad (N°)	Longitud (cm)
Tipo de cama:			
•Caliente	12 a	25 a	8 a
•Fría	6 a	23 a	6 a
Sustrato:			
•Aserrín	5 a	27 a	7 a
•Corteza	13 a	21 b	7 a

Fuente: Santelices y Cabello, 2006

Efecto del árbol madre en la sobrevivencia y arraigamiento de las estacas de *Nothofagus glauca* cosechadas en noviembre

Arbol Madre (N°)	Sobrevivencia (%)	Arraigamiento (%)
1	53 ab	20 ab
2	67 ab	53 ab
3	33 ab	13 ab
4	7 b	7 b
5	80 a	73 ab
6	80 a	80 ab
7	47 ab	40 ab
8	80 a	87 a
9	60 ab	33 ab
10	80 a	20 ab

Fuente: Santelices y Cabello, 2006

Efecto del árbol madre en la formación de callo y raíces en las estacas de *Nothofagus glauca* cosechadas en noviembre

Arbol Madre (N°)	Callo (%)	Producción de Raíces	
		Cantidad (N°)	Longitud (cm)
1	0	1,0 b	1,6 a
2	0	35,7 ab	5,3 a
3	0	11,0 b	2,8 a
4	0	4,3 b	1,6 a
5	0	35,6 ab	4,3 a
6	0	46,6 a	6,2 a
7	0	19,1 ab	4,1 a
8	0	28,3 ab	5,4 a
9	0	14,2 ab	5,1 a
10	0	10,3 b	3,2 a

Fuente: Santelices y Cabello, 2006

Efecto de la época de cosecha en la sobrevivencia y arraigamiento de estacas de *Nothofagus glauca*

Epoca de cosecha	Sobrevivencia (%)	Arraigamiento (%)
Noviembre	81 a	62 a
Diciembre	52 a	6 c
Enero	73 a	40 b
Febrero	25 a	24 b

Fuente: Santelices, 2007

Efecto de la época de cosecha en la inducción de raíces de las estacas de *Nothofagus glauca*

Epoca de Cosecha	Producción de Raíces	
	Cantidad (Nº)	Longitud (cm)
Noviembre	23,1 a	4,9 a
Diciembre	4,9 a	0,4 b
Enero	12,1 a	4,5 a
Febrero	13,2 a	4,4 a

Fuente: Santelices, 2007

Estaca de *N. glauca*

- Es de suma importancia la presencia de hojas para el arraigamiento de *N. glauca*



Estaca de *N. glauca*



Efecto del AIB en la sobrevivencia y arraigamiento de las estacas de *Nothofagus nervosa* cosechadas en julio

Concentración AIB (%)	Sobrevivencia (%)	Arraigamiento (%)
0,5	30 a	29 a
1	33 a	30 a
1,5	43 a	40 a

Fuente: Santelices, 1993

Efecto del AIB en la inducción de raíces de las estacas de *Nothofagus nervosa* cosechado en julio

Temperatura Substrato	Producción de Raíces	
	Cantidad (N°)	Longitud (cm)
0,5	12,9 a	8,9 a
1,0	9,4 b	9,6 a
1,5	10,6 ab	11,4 a

Fuente: Santelices, 1993

Estacas de *N. nervosa*



Efecto del AIB en la sobrevivencia y arraigamiento de las estacas de *Nothofagus obliqua* cosechadas en julio

Concentración AIB (%)	Sobrevivencia (%)	Arraigamiento (%)
0,5	56 a	44 a
1	57 a	48 a
1,5	25 b	21 b

Fuente: Santelices, 1993

Efecto del AIB en la inducción de raíces de las estacas de *Nothofagus obliqua* cosechado en julio

Temperatura Substrato	Producción de Raíces	
	Cantidad (N°)	Longitud (cm)
0,5	6,8 a	9,1 a
1,0	3,9 b	8,7 a
1,5	3,8 b	7,8 a

Fuente: Santelices, 1993

Estacas de *N. obliqua*



Efecto del AIB en la sobrevivencia y arraigamiento de las estacas de *Nothofagus alessandrii* cosechadas en noviembre

Concentración AIB (%)	Sobrevivencia (%)	Arraigamiento (%)
0	60	5
0,025	65	0
0,05	75	0
0,1	85	15
0,2	30	25
0,4	35	25

Fuente: Mebus, 1993

Efecto del AIB en la inducción de raíces de las estacas de *Nothofagus alessandrii* cosechado en noviembre

Concentración AIB (%)	Producción de Raíces	
	Cantidad (Nº)	Longitud (cm)
0	1,0 a	1,2 a
0,025	1,0 a	1,2 a
0,05	1,1 a	1,5 a
0,1	1,2 ab	1,9 a
0,2	1,2 ab	1,9 a
0,4	1,4 b	3,2 a

Fuente: Mebus, 1993

Efecto del AIB en la sobrevivencia y arraigamiento de las estacas de *Nothofagus alessandrii* cosechadas en noviembre de 1997

Concentración AIB (%)	Sobrevivencia (%)	Arraigamiento (%)
0,25	65 a	5 a
0,5	83 a	5 a
0,75	80 a	20 a
1	93 a	3 a

Fuente: Santelices y García, 2002

Efecto del AIB en la formación de callo y raíces en las estacas de *Nothofagus alessandrii* cosechadas en noviembre de 1997

Concentración AIB (%)	Formación de Callo (%)	Producción de Raíces	
		Cantidad (N°)	Longitud (cm)
0,25	28 a	2,7 a	1,3 a
0,5	30 a	1,3 a	0,6 a
0,75	60 a	11,0 a	2,4 a
1	43 a	1,3 a	4,1 a

Fuente: Santelices y García, 2002

Efecto de la posición en el rebrote en la sobrevivencia y arraigamiento de las estacas de *Nothofagus alessandrii* cosechadas en noviembre de 1997

Concentración AIB (%)	Sobrevivencia (%)	Arraigamiento (%)
Apical	84 a	18 a
Media	79 a	4 a
Basal	79 a	5 a

Fuente: Santelices y García, 2002

Efecto de la posición en el rebrote en la formación de callo e inducción de raíces de estacas de *Nothofagus alessandrii* cosechadas en noviembre de 1997

Concentración AIB (%)	Formación de Callo (%)	Producción de Raíces	
		Cantidad (N°)	Longitud (cm)
Apical	68 a	7,3 a	3,5 a
Media	31 a	1,5 a	1,9 a
Basal	23 a	3,5 a	0,8 a

Fuente: Santelices y García, 2002

Efecto del árbol madre en la sobrevivencia y arraigamiento de las estacas de *Nothofagus alessandrii* cosechadas en noviembre de 2001

Árbol Madre (N°)	Arraigamiento (%)	Callo (%)
1	40	40
2	0	0
3	0	60
4	0	40
5	20	60
6	0	0
7	60	100
8	0	60
9	60	80
10	80	100

Fuente: Santelices, 2005

Efecto del árbol madre en la sobrevivencia y arraigamiento de las estacas de *Nothofagus alessandrii* cosechadas en noviembre de 2001

Arbol Madre (N°)	Arraigamiento (%)	Callo (%)
11	20	100
12	40	100
13	40	40
14	60	100
15	40	100
16	60	100
17	20	60
18	20	60
9	20	20
20	100	100

Fuente: Santelices, 2005

Efecto del árbol madre en la formación de callo y raíces en las estacas de *Nothofagus alessandrii* cosechadas en noviembre de 2001

Arbol Madre (N°)	Arraig. (%)	Producción de Raíces	
		Cantidad (N°)	Longitud (cm)
1	40	2,5	3,6
2	0	0,0	0,0
3	0	0,0	0,0
4	0	0,0	0,0
5	20	5,0	6,9
6	0	0,0	0,0
7	60	2,3	7,1
8	0	0,0	0,0
9	60	4,3	4,3
10	80	2,5	3,9

Fuente: Santelices, 2005

Efecto del árbol madre en la formación de callo y raíces en las estacas de *Nothofagus alessandrii* cosechadas en noviembre de 2001

Arbol Madre (N°)	Arraig. (%)	Producción de Raíces	
		Cantidad (N°)	Longitud (cm)
11	20	2,0	1,8
12	40	1,0	3,3
13	40	2,5	7,1
14	60	3,3	4,5
15	40	4,5	4,8
16	60	1,3	14,3
17	20	1,0	7,0
18	20	1,0	6,2
19	20	1,0	6,8
20	100	4,4	5,8

Fuente: Santelices, 2005

Estacas de *N. alessandrii*

