

**UNIVERSIDAD DE CHILE**  
**FACULTAD DE CIENCIAS FORESTALES**  
**ESCUELA DE CIENCIAS FORESTALES**  
**DEPARTAMENTO DE MANEJO DE RECURSOS FORESTALES**

**PROPAGACIÓN VEGETATIVA DE**  
***Sequoia sempervirens* (D. Don) Endl. A TRAVÉS DE ESTACAS**

Memoria para optar al Título  
Profesional de Ingeniero Forestal

**MARCELO ANDRÉS RAMOS VILCHES**

Profesor Guía: Ing. Forestal, Sr. Manuel Toral Ibáñez

**SANTIAGO - CHILE.**  
**2004**

**UNIVERSIDAD DE CHILE**  
**FACULTAD DE CIENCIAS FORESTALES**  
**ESCUELA DE CIENCIAS FORESTALES**  
**DEPARTAMENTO DE MANEJO DE RECURSOS FORESTALES**

PROPAGACIÓN VEGETATIVA DE  
*Sequoia sempervirens* (D. Don) Endl. A TRAVÉS DE ESTACAS

Memoria para optar al Título  
Profesional de Ingeniero Forestal

**Marcelo Andrés Ramos Vilches**

Calificaciones:	Nota	Firma
Prof. Guía Sr. Manuel Toral I.	7,0	.....
Prof. Consejero Sr. Angel Cabello L.	5,8	.....
Prof. Consejero Sr. Manuel Ibarra M.	5,9	.....

SANTIAGO - CHILE

2004

*A mis Padres, Rosa y Germán  
A mi Abueli y a mis hermanos  
A mi “amiguita” Carito.*

## AGRADECIMIENTOS

Mis más sinceros agradecimientos a:

Mis Padres por darme esta oportunidad y permitirme sortear esta etapa sin presiones y exigencias.

Mi Profesor Guía y Director del Proyecto FONDEF D 01 I 1008, Ingeniero Forestal Sr. Manuel Toral, por su apoyo incondicional, tiempo, dedicación y cordialidad. Gracias por los múltiples consejos, correcciones a mi memoria. Gracias por haber confiado en mi.

El Proyecto FONDEF D01 I 1008 *“Silvicultura y Manejo de la Sequoia en Chile y Fomento de su Plantación Forestal Sustentable”* por su colaboración y haber hecho posible esta Memoria.

El Profesor Consejero Ingeniero Forestal Sr. Ángel Cabello, por sus valiosos consejos y correcciones. También por su disposición, tiempo y paciencia.

El Profesor Consejero Ingeniero Forestal Sr. Manuel Ibarra, por su colaboración y sugerencias entregadas.

Viviana Mundaca, por haber cuidado “mis plantitas”, entregarme su confianza y acogerme en su hogar. También a Ignacio Ibarra por su colaboración en la toma de datos.

El Profesor Sergio Mora por sus consejos y orientaciones en el análisis estadístico.

Mi hermano David, por haberme facilitado libros y documentos de su universidad.

Carolina Delgado (*“carito”*), por todo su apoyo, comprensión, amor y cariño. También por su cooperación y aporte en este trabajo. Gracias por haber alegrado mi corazón y existencia en el período que realicé mi memoria.

A todas aquellas personas que de alguna u otra forma y desinteresadamente cooperaron en este trabajo, como las profesoras C. Luz de la Maza y M<sup>a</sup> Teresa Serra, la Sra. Cristina Sáez (*“tía pH”*), Don Eric Campos, Miguel Castillo, Álvaro G., Andrés H., Danilo F. y muchos otros.

## RESUMEN

Se evaluó la capacidad de enraizamiento de estacas de tallo de primer orden de *Sequoia sempervirens* (D. Don) Endl., obtenidas de plantas madres clonadas y originadas a partir de semillas de 2,5 años de edad, provenientes de California (EEUU.). Simultáneamente se utilizaron dos tipos de sustratos y la aplicación de un regulador de crecimiento. El experimento se llevó a cabo entre mediados de mayo del 2002 y fines de julio del 2003, y tuvo una duración de 14 meses.

El ensayo se instaló en un invernadero convencional de cúpula, cubierta de polietileno, con sistema de riego por aspersión y sin calentamiento basal, perteneciente al vivero "San Ignacio" ubicado en la comuna de Isla de Maipo, en la ciudad de Santiago.

Una vez finalizado el experimento, se analizaron variables que permitieran evaluar tanto la capacidad de enraizamiento de las estacas, como el efecto provocado por tres factores determinados. Las variables medidas fueron el porcentaje de enraizamiento, volumen radicular, peso seco radicular y porcentaje de sobrevivencia. Además de variables ambientales y fisiológicas controladas a lo largo del período experimental.

A través de un experimento factorial se evaluó la significancia de los efectos que ejercen por separado o conjuntamente sobre la capacidad de enraizamiento los siguientes factores: a).- plantas madres, con siete niveles (estacas extraídas de plantas originadas a partir de semilla plus A, B, C y semilla comercial, como también material proveniente del cultivo de tejidos: los clones (RB54-22(5-13), RB54-22(5-19) y RB2-23(6-15)); b).- sustratos, con dos niveles (arena pura y una mezcla de tierra de hojas, maicillo y arena) y c).- la aplicación de ácido naftalenacético (ANA al 0,4 %), también con dos niveles (con y sin aplicación). La combinación de estos factores y sus respectivos niveles determinaron un total de 28 tratamientos ensayados con tres repeticiones cada uno.

Los resultados indicaron que los efectos producidos por la interacción entre las plantas madres, los sustratos y la hormona sobre la capacidad de enraizamiento, no fueron significativos según las variables analizadas. Sin embargo, se encontraron efectos significativos producidos tanto por la interacción entre las plantas madres y la hormona, como entre el sustrato y la hormona. En tanto que, los efectos producidos sobre la

capacidad de enraizamiento por las de plantas madres y la hormona, cada uno por separado, también fueron significativos.

Utilizando estacas extraídas de plantas madres originadas de semilla plus B, ocupando mezcla como sustrato y bajo la aplicación de ANA se obtuvo un porcentaje de enraizamiento promedio de 81,94 %. En general, las estacas extraídas de plantas madres provenientes de semilla plus A, B y C enraizaron satisfactoriamente, mientras que las estacas extraídas de material clonal sólo alcanzaron porcentajes de enraizamientos promedio por bajo el 50 %.

En tanto, el porcentaje máximo de sobrevivencia promedio fue de 97,22 % y se obtuvo con estacas extraídas del clon RB54-22(5-19), con arena como sustrato y sin la aplicación hormonal. Sin embargo, las estacas extraídas de plantas madres originadas de semilla plus A, B y C también presentaron una buena y promisoría sobrevivencia, con rangos promedios que fluctuaron entre 68 y 83 %.

Según la experiencia llevada a cabo, para propagar vegetativamente *Sequoia sempervirens* a través de estacas se recomienda ocupar principalmente estacas extraídas de plantas madres originadas a partir de semilla plus A, B y C, ocupando como sustrato una mezcla de arena, tierra y maicillo, aplicando a la vez ácido naftalenacético al 0,4 %. Aunque no se descarta del todo, la ocupación de material clonal proveniente del cultivo de tejidos.

Por último, y en base a los resultados observados se concluyó que la propagación vegetativa de *Sequoia sempervirens* a través de estacas es posible siempre y cuando, los múltiples factores que estén influyendo en la propagación de esta especie sean favorables o mejor aún, totalmente controlables.

**PALABRAS CLAVES:** propagación vegetativa, enraizamiento, estacas, *Sequoia sempervirens*, ácido naftalenacético, sustratos, plantas madres.

## SUMMARY

The capacity of rooting was evaluated in first order stem cuttings of *Sequoia sempervirens* (D. Don) Endl. obtained from cloned and seedling mothers plants of 2,5 years-old and were native to California (USA). Simultaneously, the effect of two types of substrates and the application of a growth regulator was evaluated. The experiment was conducted between early may 2002 and late july 2003 and it prolonged for 14 months.

The trials were established in a conventional –dome with polyethylene covered-greenhouse that was provided with an aspersion irrigation system without basal heating and was placed in "San Ignacio" nursery, located in Isla de Maipo, Santiago.

When the experiment was finished, evaluation variables were analyzed to understand not only the cuttings rooting capacity but also the effect caused by each of three determined factors. Selected variables were the rooting percentage, roots volume, dry weight of roots and percentage of survival of cuttings. In addition environmental and physiological variables were controlled throughout the experimental period.

A multiple factorial procedure was used to evaluate the effects of either single or grouped factors on the cuttings rooting capacity. The factors tested were: a).- mothers plants, with seven levels (cuttings extracted from seedlings originated from seed plus A, B, C and commercial seed, and material originated of tissue culture: the clones (RB54-22 (5-13), RB54-22 (5-19) and RB2-23 (6-15)); b).- substrates, with two levels (pure sand and a compound of soil litter, gravel and sand) and c).- application of naphthaleneacetic acid (NAA to 0,4 %), also with two levels (with and without application). The combination of these factors and its respective levels did a total of 28 treatments tested, each one with three repetitions.

Results indicated no significance in the effects produced by the interaction among the mothers plants, the substrates and the hormone on the cuttings rooting capacity, according to the analyzed variables. However, significant effects were found in the interaction among the mother plants and the hormone, as well as in the interaction among the substrate and the hormone. The effects produced on the cuttings rooting capacity by the mothers plants and the hormonal factor, each to separated, also were significant.

A rooting percentage average of 81,94 % was obtained using cutting extracted from seedling mothers from seed plus B with mixture of substrates and the application of NAA. In general, the cuttings extracted from seedling mothers originated of seed plus A, B and C, rooted satisfactorily. Cuttings extracted from clonal material reached down 50 % of rootings averages.

The maximum percentage of survival average was 97,22 % and was obtained using cuttings extracted from the clone RB54-22 (5-19), with sandy substratum and without the hormonal application. Nevertheless, the cuttings extracted from seedling mothers originated from seed plus A, B and C showed a good and promissory survival, with average ranging between 68 and 83 %.

According to this experiment, the most successful treatment for the vegetative reproduction of *Sequoia sempervirens* was found using cuttings mainly extracted from mothers plants originated from plus seed A, B and C, that were established on a compound substratum of sand, soil litter and gravel and applying simultaneously naphthaleneacetic acid to 0,4 %. However, the use of clonal material from tissue culture can not be completely discarded.

Finally, these results showed that it is possible to do vegetative propagation through cuttings of *Sequoia sempervirens* when the multiple factors that are influencing the propagation of this specie are favorable and totally controllable.

**KEY WORDS:** vegetative propagation, cuttings, *Sequoia sempervirens*, rooting, naphthaleneacetic acid, substrates, mothers plants.



## ÍNDICE

Pág.

**RESUMEN**

**SUMMARY**

<b>1.- INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>1</b>
<b>2.- OBJETIVOS.....</b>	<b>3</b>
<b>3.- REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA.....</b>	<b>4</b>
<b>3.1.- ANTECEDENTES GENERALES DE LA PROPAGACIÓN ASEXUAL.....</b>	<b>4</b>
<b>3.1.1.- Propagación vegetativa a través de estacas.....</b>	<b>5</b>
<b>3.1.2.- Factores que afectan la formación de raíces en las estacas.....</b>	<b>6</b>
3.1.2.1.- Características del material de propagación, selección y estado.....	7
3.1.2.2.- Tratamientos aplicados a las estacas.....	9
3.1.2.3.- Condiciones ambientales durante el enraizamiento.....	10
<b>3.2.- ANTECEDENTES GENERALES DE LA ESPECIE <i>Sequoia sempervirens</i>.....</b>	<b>12</b>
<b>3.2.1.- Descripción general de la especie.....</b>	<b>12</b>
<b>3.2.2.- Distribución natural.....</b>	<b>13</b>
<b>3.2.3.- Hábitat.....</b>	<b>13</b>
<b>3.2.4.- Propagación vegetativa de <i>Sequoia sempervirens</i>.....</b>	<b>15</b>
3.2.4.1.- Reproducción a través de rebrote del tocón (lignotuber).....	15
3.2.4.2.- Propagación vegetativa a través de estacas.....	16
3.2.4.3.- Propagación vegetativa a través del cultivo de tejidos.....	20
<b>3.2.5.- Importancia y Utilidades.....</b>	<b>22</b>
<b>4.- MATERIAL Y MÉTODO.....</b>	<b>24</b>
<b>4.1.- MATERIAL.....</b>	<b>24</b>
<b>4.1.1.- Instalaciones y Ubicación del Ensayo.....</b>	<b>24</b>
<b>4.1.2.- Descripción del material vegetativo.....</b>	<b>24</b>
<b>4.1.3.- Obtención y procedencia del material de propagación.....</b>	<b>25</b>
<b>4.1.4.- Material de vivero .....</b>	<b>26</b>
<b>4.2.- MÉTODO.....</b>	<b>27</b>
<b>4.2.1.- Diseño del experimento.....</b>	<b>27</b>

<b>4.2.2.- Diseño y Análisis estadístico.....</b>	<b>30</b>
4.2.2.1.- Análisis y modelo estadístico.....	30
4.2.2.2.- Prueba estadística de comparación múltiple.....	33
<b>4.2.3.- Variables medidas.....</b>	<b>33</b>
4.2.3.1.- Variables de medición parcial.....	34
4.2.3.2.- Variables de medición final.....	34
<b>4.2.4.- Procedimientos y Condiciones generales del Ensayo.....</b>	<b>36</b>
4.2.4.1.- Instalación del ensayo.....	36
4.2.4.2.- Cuidado y control de las estacas.....	37
<b>5.- RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....</b>	<b>40</b>
<b>5.1.- PORCENTAJE DE SOBREVIVENCIA.....</b>	<b>40</b>
<b>5.2.- PORCENTAJE DE ENRAIZAMIENTO.....</b>	<b>44</b>
<b>5.3.- VOLUMEN RADICULAR.....</b>	<b>55</b>
<b>5.4.- PESO SECO RADICULAR.....</b>	<b>59</b>
<b>5.5.- MORTALIDAD Y PRESENCIA DE BROTES.....</b>	<b>63</b>
<b>6.- CONCLUSIONES.....</b>	<b>69</b>
<b>7.- BIBLIOGRAFÍA.....</b>	<b>73</b>
<b>APÉNDICES.....</b>	<b>83</b>

## 1.- INTRODUCCIÓN

Existen ocasiones en que la propagación por semillas se hace difícil en determinadas especies vegetales. Cuando esta limitación se presenta en la propagación de especies valiosas surge, como una importante solución, la propagación vegetativa de plantas. La propagación vegetativa o asexual comprende la reproducción a partir de partes vegetativas de las plantas (tallos, hojas, raíces), y es posible ya que los órganos vegetativos de muchas plantas tienen la capacidad de reproducirse (Hartmann y Kester, 1988).

Este método de propagación es ampliamente utilizado en especies cuya producción de semillas o porcentaje de viabilidad es bajo, o bien cuando la semilla tiene un alto valor comercial. Gran utilidad entrega también cuando se busca tener varios ejemplares de un mismo genotipo, adquiriendo importancia en el mejoramiento genético de las especies, con fines principalmente productivos.

Tal ha sido el caso de la especie *Sequoia sempervirens* (D. Don) Endl., especie arbórea originaria del oeste de California, en los Estados Unidos, que de acuerdo a las tendencias actuales en Chile, podría constituirse, en un futuro no muy lejano, en una especie de valor e importancia forestal. Esto se debe, específicamente, a los múltiples y beneficiosos usos y características que su madera presenta, además de ser también, una de las maderas más valiosas y mejor cotizada en los mercados internacionales (Ramírez, 2002; Toral *et al.*, 2003).

Los estudios realizados para este tipo de propagación en especies forestales (Pino radiata, secoya, pino oregón, eucalipto, entre otras) revelan la obtención de buenos resultados al utilizar la propagación vegetativa a través de estacas que, sobre la base de diferentes compuestos hormonales reguladores del crecimiento (promotores de crecimiento sintetizados), mejoran y promueven la formación de raíces adventicias en las estacas, haciendo que finalmente se obtengan mejores individuos a un menor costo y en forma más rápida, aumentando así, la productividad en la multiplicación de plantas en viveros forestales.

Lo señalado y la posible futura propagación de secoya a gran escala, motivaron y dieron fundamento a la realización de la presente investigación, que consistió básicamente

en estudiar él o los efectos que producen en el enraizamiento de estacas de secoya, la aplicación de determinados factores o tratamientos.

El experimento se llevó a cabo en dependencias del vivero “San Ignacio”, ubicado en la comuna de Isla de Maipo (Región Metropolitana) y tuvo una duración aproximada de 14 meses, comenzando el 15 de mayo del 2002 y finalizando el 30 de julio del 2003.

Este trabajo de investigación estuvo inserto dentro del marco del Proyecto FONDEF D01 I 1008: “Silvicultura y Manejo de la Sequoia en Chile y fomento de su plantación forestal sustentable” y tuvo como finalidad, poner a prueba el método de propagación vegetativa a través de estacas aplicado en Chile y a la vez evaluar la capacidad de enraizamiento de la especie forestal *Sequoia sempervirens*.

## **2.- OBJETIVOS**

### **2.1.- OBJETIVO GENERAL**

- Evaluar la capacidad de enraizamiento en estacas de *Sequoia sempervirens*, obtenidas de plantas madres clonadas y originadas a partir de semillas, bajo dos condiciones de sustrato y la aplicación de un regulador de crecimiento.

### **2.2.- OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Evaluar y analizar si existen diferencias significativas entre los efectos ocasionados por las distintas plantas madres a propagar, en el enraizamiento de estacas de *Sequoia sempervirens*.
- Evaluar y analizar si existen diferencias significativas entre los efectos que pueda ejercer sobre el enraizamiento, la utilización de dos sustratos.
- Evaluar y analizar si existen diferencias significativas entre los efectos que pueda ejercer sobre el enraizamiento, la aplicación de un regulador de crecimiento.
- Analizar y evaluar la influencia o efecto que ejerce sobre las variables observadas, la posible independencia o interacción entre las plantas madres propagadas, los sustratos y un regulador de crecimiento.

### 3.- REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

#### 3.1.- ANTECEDENTES GENERALES DE LA PROPAGACIÓN ASEXUAL

La propagación asexual o vegetativa implica la reproducción a partir de partes o secciones vegetativas de las plantas, tales como tejidos u órganos del cuerpo vegetativo (hojas, tallos y raíces), y es posible ya que los órganos vegetativos de muchas plantas tienen la capacidad de reproducirse (Hartmann y Kester, 1988). Más específicamente, es posible porque cada célula que compone la planta contiene la información genética necesaria para generar otro individuo de similares características al del original, denominado CLON (Kains y M<sup>c</sup>Questen, 1938; Hartmann y Kester, 1980; MacDonald, 1986). Es probable que en algunos casos no se aprecien las características fenotípicas, debido a que el nuevo individuo puede ser influenciado por la variación ambiental (Zobel y Talbert, 1988), pero si es claro que el nuevo individuo es genéticamente idéntico.

La propagación vegetativa comprende división celular mitótica, vale decir que es aquella donde se produce una replicación del material genético (o del sistema cromosómico) y del citoplasma de la célula madre a las dos células hijas. Esta condición origina, posteriormente, crecimiento y diferenciación de tejidos somáticos (Hartmann y Kester, 1983). Luego las plantas propagadas vegetativamente reproducen, por medio de la replicación del ADN, toda la información genética de la planta madre, por lo que las características de la planta individual se mantienen a través del tiempo en la propagación asexual o vegetativa (Cabello, 2000).

Una de las características más significativas de la clonación se refiere a cómo todos los descendientes del clon tienen el mismo genotipo básico, la población tiende a ser fenotípicamente muy uniforme. Por lo general, toda la progenie de un clon tiene el mismo aspecto, tamaño, época de floración, época de maduración, etc., haciendo con ello posible la estandarización de la producción y otros usos del cultivar (Hartmann y Kester, 1983).

Resumiendo, la importancia de la reproducción asexual radica en la posibilidad de propagar, a escala operativa, material genético de alto valor, asegurando rápidas ganancias genéticas debido a la selección y reproducción de genotipos individuales. Además, captura los componentes aditivos y no aditivos de la varianza genética, lo que permite producir masas uniformes y productivas (Zobel y Talbert, 1988; Santelices, 1998). Sin embargo, entre

las plantas de un clon puede ocurrir variabilidad y cambios conducentes a la deterioración. La exposición a un ambiente continuamente desfavorable puede conducir a la deterioración progresiva de un clon (Zobel y Talbert, 1988; Hartmann y Kester, 1988).

Probablemente el deterioro de mayor importancia sea el efecto del ataque de agentes patógenos, principalmente virus y plagas (Hartmann y Kester, 1988). MacDonald (1986) señala y agrega a éstos, la variación genética (mutaciones) como también principal fuente de variabilidad de las plantas de un clon.

En el ámbito de la investigación forestal, se denomina ORTET a la planta madre de donde se obtiene el material vegetativo que se propagará, y RAMETS a los nuevos individuos que se generan, que son genéticamente iguales al ortet.

Las principales técnicas o métodos actuales de propagación vegetativa son el enraizamiento de estacas y acodos, los injertos y el cultivo de tejidos (propagación *in vitro*) (Kains y McQuesten, 1938; Hartmann y Kester, 1988; Mason y Jinks, 1994).

Entre las especies forestales propagadas comúnmente en Europa a través del enraizamiento de estacas se incluyen *Populus* (álamos), *Chamaecyparis lawsoniana*, *Cryptomeria japonica*, *Sequoia sempervirens* y *Sequoiadendron giganteum*, dentro de una mayor cantidad de especies potenciales existentes para ser propagadas vegetativamente (Mason y Jinks, 1994).

Sobre estos métodos, podría decirse que la propagación vegetativa a través de estacas es el método más comúnmente ocupado a gran escala en los viveros forestales (Mason y Jinks, 1994).

### **3.1.1.- Propagación Vegetativa a través de estacas**

Se entiende por estaca como cualquier porción vegetativa que es extraída de una planta (Dirr y Heuser, 1987). O bien como cualquier porción de una planta (raíz, tallo, hoja) que es separada de ésta y que es inducida para que forme raíces (Wells, 1979).

En la propagación vegetativa a través de estacas, se corta de la planta madre una porción de tallo, raíz u hoja, después de lo cual esa porción se coloca en condiciones ambientales favorables y se induce a que forme raíces y tallos, obteniéndose con ello una planta nueva, independiente, que en la mayoría de los casos es idéntica a la planta madre (Hartmann y Kester, 1988).

Resumiendo los párrafos anteriores, las estacas ocupadas se dividen en tres grandes grupos, atendiendo a su origen: estacas de raíz, de tallo y de hojas. El método de propagación a través de estacas de tallo es el más importante (Cuculiza, 1956; Hartmann y Kester, 1980), y es específicamente, sobre él cual más se indagará y analizará posteriormente en esta memoria.

La propagación vegetativa a través de estacas de tallo es el medio más importante y más utilizado en el mundo, en la propagación de árboles de interés forestal y arbustos ornamentales, tanto de especies deciduas como de hoja ancha y siempreverdes de hoja angosta (como las coníferas, por ejemplo). Las estacas se usan, también, extensamente en la propagación comercial en invernadero de muchos cultivos florales y su empleo es común en la propagación de diversas especies frutales (Hartmann y Kester, 1980). Según Wells (1979), este método de propagación es uno de los más utilizados a nivel práctico y posee una gran importancia económica.

Son múltiples las razones y utilidades que este método de propagación puede presentar al momento de aplicarlo. Entre éstas se encuentra la mantención de clones a través del tiempo. Esta utilidad es particularmente importante en la propagación de árboles frutales, ornamentales y de importancia forestal (Awad, 1993).

### **3.1.2.- Factores que afectan la formación de raíces en las estacas**

Al momento de hacer enraizar una estaca, son varios los factores que inciden en este proceso, pero para su mejor análisis y comprensión se dividirán en tres grandes grupos: el primero de ellos corresponde a las características relacionadas con el material vegetal a propagar; en segundo lugar están los tratamientos aplicados a las estacas y, por último se encuentran las condiciones ambientales a que son sometidas las estacas durante el enraizamiento (Hermosilla, 1996).



### 3.1.2.1.- Características del material de propagación, selección y estado

**Edad de la planta madre (factor de juvenilidad).** Las estacas obtenidas de plantas jóvenes o de sectores más juveniles tienen mayor capacidad para formar raíces (Dirr y Heuser, 1987; Botti, 1999). Cualquier tratamiento previo que logre rejuvenecer a la planta o mantener la fase juvenil (podas drásticas, aplicaciones de giberelinas, injertos) será efectivo para favorecer el enraizamiento de las estacas. Es posible que con la edad se acumulen inhibidores del enraizamiento, como por ejemplo algunos tipos de fenoles, o bien disminuyan otros fenoles que favorecen el proceso (Botti, 1999).

En algunas especies de coníferas y latifoliadas de difícil enraizamiento, se demostró que el factor individual más importante que influye en el arraigamiento, era la edad del árbol del cual se habían tomado las estacas (Hartmann y Kester, 1988). Kramer y Koslowski (1979), concluyeron que la capacidad de enraizamiento decrece con el incremento de la edad del material de origen (planta madre). Cabello (1990), en un ensayo de enraizamiento, ocupó estacas de *Fitzroya cupressoides* (Alerce), obteniendo un porcentaje de enraizamiento del 100 % en condiciones de invernadero, tanto en estacas tratadas con Rootone F, como en las sin tratar. Sin embargo, Cabello y Alvear (1992) propagaron estacas de Alerce tratándolas a la vez con IBA en distintas concentraciones y también con Rootone F, obteniendo enraizamientos entre 35,5 y 62,2 % y particularmente una calidad de los sistemas radicales desarrollados muy inferior a los conseguidos por Cabello (1990). De lo anterior concluyeron que las diferencias en cantidad y calidad en el enraizamiento de estacas de Alerce, entre los dos ensayos, se debían a cambios fisiológicos causados por el aumento en edad del rodal de donde se extrajeron las estacas para ambos ensayos. Se verificó que el rodal se encontraba terminando la fase de crecimiento juvenil, e ingresando en la de transición a la fase adulta.

**Sección de la planta madre de la cual se obtienen las estacas.** Este efecto es de suma importancia. Las diferencias de enraizado según la posición de la estaca en el árbol, puede deberse a una distribución desigual de hormonas vegetales y de reservas nutritivas en las diferentes partes de la planta (Vastey, 1962; citado por Santelices, 1998). El mejor enraizamiento de los extremos de las ramas y tallos (yema terminal) puede ser explicado por la posibilidad de contengan mayores concentraciones de sustancias endógenas promotoras

del enraizamiento. También en las estacas terminales existe menos diferenciación, habiendo más células que pueden volverse meristemáticas (Hartmann y Kester, 1983).

Es necesario destacar que pueden existir diferencias en el enraizamiento y crecimiento entre las estacas obtenidas del tallo y otras obtenidas de ramas, en la misma planta madre (MacDonald, 1986; Dirr y Heuser, 1987; Hartmann y Kester, 1988). En ciertas especies las estacas tomadas de ramas laterales con frecuencia tienen un porcentaje de enraizamiento mayor que aquellas tomadas de ramas terminales fuertes y vigorosas (Hartmann y Kester, 1988). Sin embargo, en ciertas especies las plantas propagadas por estacas tomadas de ramas laterales pueden tener un hábito de crecimiento indeseable, denominado topófisis (MacDonald, 1986; Dirr y Heuser, 1987; Hartmann y Kester, 1988).

La “topófisis” consiste en un cambio o variación de fases de diferentes partes de la planta y cuyos meristemas perpetúan esas fases en su descendencia vegetativa (MacDonald, 1986; Hartmann y Kester, 1988). En la práctica la topófisis se manifiesta en que una estaca tomada del tallo (ortotrópico) de una planta madre tendrá el mismo hábito de crecimiento vertical. En cambio, una estaca extraída de una rama de hábito plageotrópico se desarrollará y crecerá horizontalmente, o sea perpetuará el hábito plageotrópico (MacDonald, 1986; Dirr y Heuser, 1987; Hartmann y Kester, 1988).

La topófisis se muestra con marcada frecuencia en algunas coníferas, en las cuales se pueden obtener formas postradas u horizontales si las estacas se toman de ramas que crezcan horizontalmente (MacDonald, 1986; Hartmann y Kester, 1988). Un ejemplo claro es la especie *Sequoia sempervirens*, que al momento de ser propagada, se debe obtener siempre estacas de las guías o tallos apicales de las plantas madres (Heede, 1981; MacDonald, 1986).

**Época del año en que se corte la estaca.** Para algunas especies la época de recolección es determinante en el proceso de enraizamiento (Hartmann y Kester 1988; Botii, 1999). Ello es especial para estacas verdes, de madera blanda, las que generalmente deben extraerse en primavera o verano (Botii, 1999).

En el caso específico de las coníferas, el estado óptimo para recolectar dicho material está relacionado con el suministro de carbohidratos y la presencia de tejido joven

para el crecimiento celular, lo cual es posible de observar en el período previo a la formación de madera de verano (Bognadov, 1983; citado por Hermosilla, 1996). Muchas especies de difícil enraizamiento presentan mejores resultados al recolectar las estacas en breves períodos de primavera. Sin embargo, cuando se presentan problemas de enraizamiento, deben hacerse pruebas para determinar cuál es la mejor época de extracción para cada especie (Hartmann y Kester 1988; Botti, 1999).

### 3.1.2.2.- Tratamientos aplicados a las estacas

**Aplicación de reguladores de crecimiento (Hormonas sintéticas).** Las hormonas vegetales llamadas auxinas, fabricadas por las plantas, intervienen en la formación de las raíces de las estaquillas. A través del tiempo se ha logrado sintetizar compuestos capaces de estimular (inducir) o de acelerar esta formación (Wells, 1979; MacDonald, 1986; Cuisance, 1988; Hartmann y Kester, 1988).

Los productos más utilizados para favorecer el enraizamiento en estacas son las auxinas sintéticas o ácidos orgánicos, tales como el ácido indolbutírico (IBA), el ácido naftalenacético (ANA) y en un menor grado el ácido indolacético (AIA). En razón a su actividad fisiológica se le ha dado el nombre de hormonas auxinas de síntesis, por analogía con las hormonas naturales, pero es preferible designarlas con el nombre de sustancias reguladoras de crecimiento (Cuisance, 1988; Hartmann y Kester, 1988; Botti 1999).

A menudo, las mezclas de sustancias estimuladoras del enraizamiento son más efectivas que cualquiera de sus componentes aislados. Por ejemplo, cuando en cierto número de especies muy diferentes se usó una mezcla de partes iguales de ácido indolbutírico y ácido naftalenacético, se encontró que inducía un mayor porcentaje de enraizamiento en las estacas y la producción de más raíces por estaca que cada material por separado (Hartmann y Kester, 1988).

Para uso general en el enraizamiento de estacas de tallo de la mayoría de las especies de plantas es muy recomendado el ácido indolbutírico y en otras ocasiones el ácido naftalenacético. Para determinar cual regulador tiene mejores resultados y en que concentración óptima influye en el enraizamiento de una especie, es necesario realizar pruebas empíricas (Hartmann y Kester, 1988; Botti, 1999).

**Fungicidas.** La iniciación de raíces adventicias seguida por la supervivencia de las estacas enraizadas constituyen dos fases diferentes. Con frecuencia las estacas forman raíces pero no sobreviven mucho tiempo. Durante el enraizamiento y el período siguiente, las estacas están expuestas a ataques de diversos microorganismos. Los tratamientos con fungicidas prestan cierta protección y conducen tanto a una mayor supervivencia como a una mejor calidad de raíces (Hartmann y Kester, 1988).

Normalmente el material utilizado para la propagación de plantas presenta algún grado de contaminación, especialmente con hongos. Por ello es indispensable desinfectar las estacas antes del tratamiento con reguladores de crecimiento (Botti, 1999). Pueden usarse de manera independiente o mezclada. La mezcla de fungicidas más recomendable, ya que controla una amplia gama de hongos, es Benomyl 5% (Benlate<sup>®</sup>) y Captan<sup>®</sup> (25%) (MacDonald, 1986; Hartmann y Kester, 1988; Botti, 1999).

### 3.1.2.3.- Condiciones ambientales durante el enraizamiento

**Medio de enraizamiento (sustrato).** El sustrato de propagación debe cumplir tres funciones muy importantes para el éxito del proceso: sujetar las estacas, mantener la humedad y permitir el intercambio de gases (Hartmann y Kester, 1988; Botti, 1999). Por lo tanto, cualquier material o mezcla de materiales que se utilice debe permitir una buena retención de agua (sin acumularla excesivamente) y una aireación que permita un contenido de oxígeno adecuado para la respiración de los tejidos sometidos a la producción de nuevas raíces (Botti, 1999). También debe poseer un buen drenaje y estar libre de microorganismos (Peate, 1989). Además, debe contener un escaso contenido de materia orgánica (Sandoval, 1997), con una densidad aparente baja, para facilitar su mezcla, manipulación, traslado y trasplante (James, 1986).

Existen numerosos tipos de sustratos. Están los de tipo orgánico (turba, tierra de hoja, aserrín, cáscara de arroz, etc) y los de tipo mineral (arena y arcillas expandidas como la perlita y vermiculita) (Wells, 1979; MacDonald, 1986; Botti, 1999). Los mejores resultados generalmente se han obtenido con el empleo de una mezcla de perlita y vermiculita en proporción de 2:1 ó 1:1, pero su costo es demasiado elevado (Botti, 1999).

**Temperatura ambiental y del medio de enraizamiento.** La temperatura ambiental óptima para el enraizamiento varía según la especie (Hartmann y Kester, 1988). Botti (1999), señala que la mayoría de las especies requieren rangos diurnos de 20 a 27 °C, mientras Hartmann y Kester (1980) restringen el rango de 21 a 27 °C. La temperatura nocturna ideal debe estar alrededor de los 15 °C (Hartmann y Kester, 1980; Botti, 1999).

Muchas especies logran mayores porcentajes de enraizamiento y en menor tiempo cuando la temperatura del sustrato se mantiene entre 25 y 28 °C en los primeros 15 a 20 días, para luego disminuirla a entre 18 y 20 °C. Esta condición puede llegar a ser decisiva en el proceso de enraizamiento para algunas especies vegetales (Botti, 1999). Pero no siempre existen los medios económicos para poder implementar camas calientes.

**Humedad.** Es de gran importancia que las condiciones ambientales de temperatura y humedad en el sector de propagación puedan ser controladas, manteniéndolas dentro de los rangos adecuados (Botti, 1999). La humedad debe mantenerse alta; entre 70 y 80% aproximadamente para evitar la deshidratación del material vegetal, especialmente en el caso de estacas verdes o herbáceas. Para ello es indispensable el empleo de boquillas con riego fino intermitente (mist) o incluso un equipo que entregue niebla fina (nebulizado) cada vez que la humedad ambiental disminuya en el invernadero, de esta forma se mantiene la humedad adecuada del sustrato y se humedecen las hojas de las estacas, reduciendo a la vez la temperatura del medio y la transpiración de las estacas (Sabja, 1980; Dirr y Heuser, 1987; Hartmann y Kester, 1988; Botti, 1999).

**Luz.** En todos los tipos de crecimiento y desarrollo de las plantas, la luz es de importancia primordial como fuente de energía para la fotosíntesis. En el enraizamiento de estacas, los productos de la fotosíntesis son importantes para la iniciación y crecimiento de las raíces. Los efectos en él pueden deberse a la intensidad (radiancia), al fotoperíodo (longitud del día) y a la calidad de luz. Estos efectos pueden ser ejercidos ya sea en las plantas madres de las que se toma el material o en las estacas mismas durante el proceso de enraizamiento (Dirr y Heuser, 1987; Hartmann y Kester, 1988). La duración y la intensidad de la luz son factores que deben ser considerados, ya que son fundamentales en la producción de hormonas o auxinas y en la fotosíntesis, básicamente en la formación de carbohidratos, y por lo tanto necesaria para la iniciación y formación de raíces y yemas en las estacas (Hartmann y

Kester, 1980; MacDonald, 1986). En algunas especies el mayor porcentaje de enraizamiento se obtiene con fotoperíodos largos y de iluminación continua (Hartmann y Kester, 1988).

### **3.2.- ANTECEDENTES GENERALES DE LA ESPECIE *Sequoia sempervirens* (D. Don) Endl.**

#### **3.2.1.- Descripción general de la especie**

Especie arbórea originaria de la región comprendida entre el sur de Oregon y California, en los Estados Unidos. Esta especie presenta la particularidad de ser la única que pertenece al género *Sequoia* (género monoespecífico) (Olson y Roy, 1989). *Sequoia sempervirens*, también conocida comúnmente como redwood, secoya o alerce americano, es uno de los árboles más longevos del mundo (Bailey y Bailey, 1976; Kannegiesser, 1990; Alden, 1997).

En 1795 fueron llevados a Inglaterra los primeros especímenes de secoya y no fueron descritos hasta 1823, cuando Lambert clasificó a estos árboles como *Taxodium sempervirens*, perteneciente a la familia Taxodiaceae. En 1847 se clasificó genéricamente a esta especie con el nombre de *Sequoia*, en honor al Jefe Cherokee "Sequoyak". El término específico *sempervirens*, quiere decir "de hoja perenne" (Bailey y Bailey, 1976; Coate, 1980; Everett, 1982; Alden, 1997; INFOR, 1998).

Árbol de gran altura; es una de las especies más altas y voluminosas junto a *Sequoiadendron*, no sólo de los bosques estadounidenses, sino del mundo entero (Serra, 1987). Se sabe de la existencia de individuos con alturas superiores a 100 m y diámetros con corteza de 4 m. Estos árboles son escasos, pero existen. Son más comunes aquellas secoyas con más de 60 m de altura (Kannegiesser, 1990; Alden, 1997).

Presenta copa piramidal, fuste recto y levemente cónico; corteza gruesa, esponjosa, fibrosa, de color marrón-rojizo (Rodríguez y Rodríguez, 1983; Kannegiesser, 1990; Alden, 1997). Ramas insertas perpendicularmente al tronco, los extremos algo péndulos. Hojas perennes, de hasta 2,5 cm de largo. Las hojas en las ramillas viejas están insertadas helicoidalmente, en las nuevas en dos planos divergentes; lámina aplanada, linear, ápice

agudo pero no punzante, base angosta, cortamente pecioladas, algo torcidas, verde intenso en la cara superior, con dos bandas estomáticas en el envés (Rodríguez y Rodríguez, 1983). Hojas dimorfas, las de las últimas ramillas dispuestas en dos planos divergentes, dísticas. Yemas de invierno escamosas (Serra, 1987; Kannegiesser, 1990).

Conos masculinos (flores) solitarios, terminales, ovoides, de 5 a 7 mm de largo compuestos de numerosas hojas polínicas triangulares, con tres sacos polínicos en su base. Conos femeninos maduros de 1,5 a 2,5 cm de largo, leñosos, ovoides, de maduración anual; escamas o brácteas rugosas, peltadas, cada una con una espina poco saliente en el centro (Rodríguez y Rodríguez, 1983; Serra, 1987). Cada bráctea contiene 1 a 5 semillas aladas que demoran un año en madurar (Hoffmann, 1983). Semillas de color rojizo, aplanadas, aristadas, de 2 a 3 mm de largo, sin alas (Serra, 1987; INFOR, 1998).

### **3.2.2.- Distribución natural**

En la actualidad, la secoya crece en forma natural sobre una superficie muy reducida, en forma discontinua, en un área que va de 8 a 58 km de ancho por un largo de 720 a 800 km, extendiéndose en una angosta franja en la costa del Océano Pacífico, desde Oregon (42°09' N), hasta el sur del condado de Monterrey (35°41' N), en la costa oeste de California (Roy, 1965, 1966; Serra, 1987; Olson y Roy, 1989; Kannegiesser, 1990; Alden, 1997; Ramírez, 2002). Gran parte de su superficie se encuentra protegida dentro del sistema de parques estatales del National Park Service de los Estados Unidos (Everett, 1982; Serra, 1987; Olson y Roy, 1989).

### **2.2.3.- Hábitat**

Los árboles y bosques naturales de secoya crecen desde el nivel del mar hasta aproximadamente 950 m.s.n.m. en valles, cañones y laderas cercanos al mar donde la lluvia y la niebla son abundantes (Serra, 1987), con su distribución máxima entre 30 y 750 m.s.n.m. (Kannegiesser, 1990; INFOR, 1998). Requiere de climas frescos con alta humedad. Crece principalmente en rodales puros, pero también es común encontrarla creciendo asociada con *Pseudotsuga mienzesii* (pino oregón) y con especies de los géneros *Picea*, *Abies* y *Tsuga* (Serra, 1987; INFOR, 1998). En condiciones atípicas, la secoya se

asocia con *Cupressus goveniana* y algunos pinos como *Pinus lambertiana*, *Pinus contorta* y *Pinus attenuata* (Kannegiesser, 1990).

El clima en que se desarrolla naturalmente la secoya puede clasificarse como templado superhúmedo o húmedo con influencia oceánica (Olson y Roy, 1989; Kannegiesser, 1990). Las temperaturas medias anuales varían entre 10 y 16 °C, y la diferencia entre la media mínima y la máxima anual no supera los 5,6 °C, para los bosques de la costa, y hasta 16,7 °C para aquellos más continentales. Las temperaturas raramente descienden de -9 °C y exceden los 38 °C, mientras que el período libre de heladas varía entre 6 y 11 meses (Olson y Roy, 1989).

Las precipitaciones anuales varían entre 635 a 3.100 mm, distribuidas principalmente en invierno, siendo enero el mes más húmedo y agosto el más seco. Otra característica de la región en que se desarrolla esta especie es la presencia de nieblas veraniegas que tienen una considerable importancia en la distribución de la especie (Olson y Roy, 1989).

En Chile, la región apropiada para el establecimiento de esta especie se extiende desde Valparaíso (V Región) por la costa, internándose en el valle central a la latitud de Linares, hasta el límite sur en Puerto Montt (X Región). El área óptima de crecimiento coincide con la de *Pinus radiata* (pino insigne), estimándose que la secoya puede alcanzar un desarrollo mayor y más rápido en suelos planos aluviales a lo largo de los ríos (INFOR, 1998).

También en Chile, otras experiencias con esta especie indican la existencia de un área potencial importante para su establecimiento, que está entre la VIII y X Región (INFOR, 1998; Toral *et al.*, 2003). En tanto Gaete (1968), a partir de resultados obtenidos en ensayos de plantación con material propagado vegetativamente en vivero, recomienda la forestación de esta especie en la zona centro sur. En las provincias de Malleco y Bío Bío, donde se realizaron los ensayos, se observó una buena adaptación de la especie y un rápido crecimiento.



### 3.2.4.- Propagación vegetativa de *Sequoia sempervirens*

Esta especie se reproduce naturalmente por rebrotes de tocón (Roy, 1966; Boe, 1975; Olson y Roy, 1989) y puede ser propagada vegetativamente a través de estacas o mediante una técnica más sofisticada, pero más costosa, el cultivo de tejidos, técnica conocida también, como cultivo *in vitro* (Makino *et al.*, 1985; Olson y Roy, 1989; Alden, 1997). Es una de las pocas coníferas que posee la capacidad de reproducirse vegetativamente, mostrando numerosos rebrotes luego de ocurrida alguna perturbación, tal como la ocurrencia de incendios o algún daño mecánico (Olson y Roy, 1989; Lenihan, 1990; Ramírez, 2002).

#### 3.2.4.1.- Reproducción a través de rebrote del tocón (lignotuber)

Como se mencionó, secoya es una especie que rebrota rápida y vigorosamente a partir del tocón. Son numerosos los brotes que aparecen cuando el lignotuber sufre algún tipo de daño mecánico o quemadura por fuego. Estos rebrotes se originan de yemas adventicias en estado de latencia ubicadas bajo o sobre el floema y se pueden observar transcurridas 2 a 3 semanas de ocurrida la lesión (Neal, 1967; Fiske y DeBell, 1989; Olson y Roy, 1989; Del Tredici, 1998). La formación de estas yemas ocurre en la etapa juvenil del árbol (Lenihan, 1990). El lignotuber de la secoya es un órgano especializado de regeneración y almacenamiento de carbohidratos, que contribuye a asegurar la sobrevivencia de la especie por medio de la producción de yemas adventicias que se convertirán en futuros brotes si es que se provoca alguna herida (daño traumático) al tronco del árbol padre (Del Tredici, 1998).

En respuesta a la variedad de factores exógenos, como por ejemplo un clima hostil, secoya puede también inducir lignotuberos en el tronco del árbol a través de nudos. Los brotes originados a partir de estos nudos pueden originar ramas laterales que se ponen en contacto con el suelo, formando verdaderos acodos (Del Tredici, 1998).

Se ha observado también que en árboles más jóvenes los rebrotes aparecen más rápidamente que en ejemplares de mayor edad (Roy, 1966; Neal, 1967; Olson y Roy, 1989). En tanto, Fiske y DeBell (1989) observaron que la capacidad de rebrote disminuye a medida que aumenta el tamaño y la edad del árbol. Un tocón puede llegar a producir más de 100

rebrotos que a la vez, pueden llegar a transformarse en nuevos árboles rodeando al viejo tocón (Barrette, 1966; Cole, 1983).

Los rebrotos pueden originarse de los costados o de la parte superior del tocón o bien de las raíces sobresalientes. Los dos primeros son menos deseables que los que se originan de la raíz, debido a que los rebrotos de raíz son mecánicamente mejor y tienen un crecimiento más vigoroso. Los brotes originados de los costados o de la parte superior del tocón a menudo son destruidos por tormentas de viento (Olson y Roy, 1989).

Luego del primer año de crecimiento, los rebrotos del tocón pueden medir de 60 a 90 cm, pudiendo llegar hasta 1,8 m. Los rebrotos pueden crecer más rápidamente que una planta originada de semilla, debido a que ya tienen un sistema radicular formado (Libby, 1982).

Debido a esta capacidad de la especie, sucesivas generaciones de árboles que se mantienen hasta la fecha son clones (misma información genética) de los árboles padres originados a partir de una semilla hace miles de años (Libby, 1982; Olson y Roy, 1989).

#### 3.2.4.2.- Propagación vegetativa a través de estacas

Secoya puede ser propagada vegetativamente a través de estacas. Sin embargo, no han sido muchas las pruebas realizadas a gran escala. Los estudios y pruebas se han centrado principalmente en otras especies de coníferas, tales como *Sequoiadendron giganteum* y *Metasequoia glyptostroboides* (Blythe, 1985).

La propagación vegetativa de secoya a través de estacas sigue los métodos comunes que se emplean en la propagación de coníferas. Las estacas se extraen en la época de otoño o invierno. Luego de ser cortadas éstas deben plantarse inmediatamente. Las estacas pueden enraizar en aproximadamente 5 meses, con porcentajes de enraizamiento que varían de acuerdo al material parental de las estacas, a los tratamientos aplicados y también de acuerdo a factores medioambientales. Transcurridos 6 meses en el invernadero, las estacas podrían ser puestas en macetas o bolsas plásticas para pasar por un período de endurecimiento aproximadamente de 2 meses y luego estar listas para ser plantadas (Libby, 1982; Blythe, 1985). Joroslavcev (1967) señala que el tiempo de

estaquillado en secoya, y también en otras coníferas, debe ser hasta que comience o se reanude el crecimiento. En tanto que Gil-Albert y Boix (1978), encontraron que para secoya el período óptimo de enraizamiento era de aproximadamente 1 año.

En un estudio realizado en California se pusieron a enraizar estacas en el suelo del vivero sin realizarles ningún tratamiento. Las estacas fueron extraídas de plantas madres de rápido crecimiento. El 40 % de las estacas formó un sistema radicular (Roy, 1965). En tanto Libby y McCutchan (1978), realizaron un experimento donde ocuparon estacas extraídas de plantas madres juveniles (originadas de semillas), pero mejoraron las condiciones medioambientales de las estacas, utilizando un medio de propagación adecuado y riego por nebulización en invernadero. Obtuvieron un considerable aumento en el enraizamiento, llegando a enraizar el 90 % de las estacas. Debido a lo anterior es posible deducir que las estacas tomadas de árboles adultos tienen mayor dificultad para enraizar que las estacas extraídas de material juvenil (Olson y Roy, 1989).

Tal como en muchas otras especies leñosas, la multiplicación de secoya es problemática en cierto sentido, debido a la reducida capacidad para enraizar de las estacas extraídas de los árboles adultos o ya viejos. La causa o razón del bajo enraizamiento en estacas provenientes de material adulto todavía es desconocida (Blazková *et al.*, 1997).

Paulatinamente a través de los años se han ido perfeccionando los procedimientos de propagación vegetativa de secoya a través de estacas. Se ha logrado mantener la juventud del árbol madre a través de árboles "setos" de donde es posible extraer múltiples estacas para propagar. Se calcula que una sola planta madre originada de semilla puede producir por sobre un millón de estacas en un período aproximado de 3 años, propagando a la vez las plantas extraídas del seto original (Libby y McCutchan, 1978).

La aplicación de auxinas o de reguladores de crecimiento es un procedimiento que se ha utilizado para la inducción de raíces en estacas (Jarvis y Yasmin, 1987). Debido a su alta estabilidad y capacidad para inducir raíces, el ácido indolbutírico (IBA) y otras auxinas sintéticas son preferibles de usar por sobre el ácido indolacético (IAA). Éste es rápidamente metabolizado por la planta y se inactiva cuando es aplicado (Pluss *et al.*, 1989).

Platt (1980), encontró que *Sequoiadendron* enraizó mejor cuando las estacas fueron tratadas con ácido indolbutírico (IBA) en concentración de 3.000 ppm., aunque las estacas

formaron un pobre sistema radical. Años antes, Wolford y Libby (1976) habían indicado que la concentración óptima de IBA era entre 2.000 y 4.000 ppm utilizando un medio de propagación inorgánico. Fins (1980), encontró que el enraizamiento mejoró cuando las estacas eran tomadas de material juvenil y cortadas diagonalmente en la base, además de un fertilizante incorporado al medio de propagación y altas dosis de humedad mediante nebulizado. En tanto Lamb (1972), recomendó que la arena pura era preferible como sustrato a la mezcla de arena con turba.

Connor (1982), concluyó que *Metasequoia* enraíza mejor cuando las estacas son almacenadas en un lugar frío por 30 días antes de ser plantadas y tratadas a la vez con IBA en concentración de 3.000 ppm y luego puestas a enraizar un sustrato compuesto de perlita y turba, más un nebulizado intermitente.

Blythe (1985), puso a enraizar estacas de secoya extraídas de tallo, y constató que los primeros 3 meses del enraizamiento fueron marcados principalmente por la formación de callo en la parte basal de las estacas. Un gran porcentaje de las estacas formó raíces tras 2 meses de enraizamiento. Las estacas formaron de 2 a 4 raíces principales. En general, los resultados indicaron que una combinación de IBA y ANA, ambos en concentraciones de 3.000 ppm. o bien utilizando solamente IBA fueron los tratamientos más efectivos en el enraizamiento de secoya. Al final del experimento un alto porcentaje de estacas formó callo, pero no llegó a enraizar.

Festa y Gambi (1978), estudiaron el enraizamiento en secoya. Constataron que el enraizamiento es más exitoso en los meses cálidos del verano. La aplicación de IBA mejoró significativamente el enraizamiento, de un 12 % en estacas no tratadas a un 78 % en estacas tratadas. En otro experimento, Becking y Belletto (1968), propagaron vegetativamente secoya a través de estacas extraídas de plantas madres en distintos grados de madurez, tanto de brotes de raíz como de ramas, incluyendo además, la aplicación de reguladores de crecimiento y variando las temperaturas del sustrato. Los resultados obtenidos indicaron que el enraizamiento fue satisfactorio.

Whiteman y Wiant (1967), al igual que Tufour (1973), compararon la capacidad de enraizamiento de estacas extraídas de brotes basales con estacas extraídas de ramas de crecimientos secundarios de árboles de secoya. Al final del experimento se observó que las estacas extraídas de brotes basales enraizaron mejor y en mayor porcentaje que las estacas

extraídas de ramas (brotes laterales). Este último autor completa su estudio analizando la tasa de crecimiento de las plantas, la forma del tallo y sobrevivencia de las estacas.

Según un estudio realizado por Teixeira (1981), los factores que inciden directamente en la formación de raíces en estacas de secoya son dos principalmente: los tratamientos aplicados (reguladores del crecimiento principalmente) y el grado de madurez del material de donde se extraen las estacas (material juvenil o adulto).

Un problema muy común, y que es necesario tener en cuenta al momento de propagar secoya a través de estacas, es que en esta especie (y también en otras coníferas) se presenta el fenómeno conocido como topófisis (MacDonald, 1986; Power *et al.*, 1988). Esto quiere decir que dependiendo de la sección que se extraiga la estaca, ésta puede presentar un dramático y marcado efecto en el hábito de crecimiento una vez que haya enraizado. Una estaca enraizada obtenida de tallos o de un brote apical vertical crecerá verticalmente. Pero una estaca extraída de una rama de crecimiento horizontal continuará creciendo horizontal o plagiotrópicamente después de enraizar y las plantas tendrán una apariencia rastrera por meses o años. Este efecto puede tener solo un interés científico, debido a que secoya es propagada más comúnmente por semillas. Sin embargo, este efecto presenta mayor importancia si se desea propagar clones de secoya o perpetuar una cualidad específica deseada de una planta o cultivar (Olesen, 1973; MacDonald, 1986; Power *et al.*, 1988).

Es probable que en ciertos casos la topófisis en secoya sea confundida con los efectos provocados por la ciclófisis (efectos provocados por la gradiente de maduración) en estacas obtenidas de la parte superior de la planta madre (Olesen, 1978). Tufour (1973), investigó que la larga persistencia de la plagiotropía en el crecimiento y desarrollo de las estacas tomadas de la parte superior de las plantas madres mostraron una fuerte interacción entre los efectos producidos por la topófisis y la ciclófisis.

La propagación de secoya a través de estacas se emplea en Chile para obtener plantas y árboles ornamentales. Su crecimiento inicial es muy rápido, después de un año de permanencia en el invernadero y otro en el vivero pueden alcanzar 1 a 2 m de altura, estando listas para ser transplantadas (Rodríguez y Rodríguez, 1983; INFOR, 1998).

En Chile son pocos los estudios realizados sobre *Sequoia sempervirens*, más aún si se refiere a la propagación vegetativa de esta especie. Cabe aclarar que hasta el momento, no existen antecedentes ni otras investigaciones escritas sobre la propagación vegetativa masiva de secoya con fines productivos. Sin embargo, se pudo recabar un único antecedente de una experiencia realizada en Chile relacionada con ensayos de enraizamiento de estacas de secoya, realizados en la década de los setenta por Cabello<sup>1</sup>. En este experimento obtuvo buenos porcentajes de enraizamiento tratando a las estacas antes de plantarlas con un enraizante comercial en talco (Seradix®) y puestas a enraizar en invierno en condiciones de vivero (en platabandas a raíz desnuda agregando turba al suelo de ellas). En este experimento llegó a obtener un porcentaje de enraizamiento alrededor del 90 %.

Pero esta situación cambia radicalmente en Europa y especialmente en Estados Unidos, que es donde esta especie ha sido ampliamente estudiada, y es justamente ahí, donde se encuentra la mayor cantidad de conocimientos y estudios específicos sobre esta especie.

#### 3.2.4.3.- Propagación vegetativa a través del cultivo de tejidos

Los primeros informes sobre propagación *in vitro* de secoya datan de la década de los 50 en los Estados Unidos. Las técnicas más modernas del cultivo de tejido pueden ser aplicadas exitosamente en la propagación vegetativa a gran escala de secoya utilizando yemas o brotes de plantas juveniles con altas tasa de crecimiento (Ball *et al.*, 1978; Boulay, 1979). También puede utilizarse material adulto rejuvenecido *in vitro* (Boulay, 1979; Fouret *et al.*, 1986; Tranvan *et al.*, 1991).

En el cultivo de tejido también se pueden utilizar pequeños segmentos de tejidos, empleándose generalmente medios semisólidos o líquidos. A partir de segmentos inoculados (explantes) es posible inducir con cierta facilidad la formación de callos. Por otro lado manipulando los componentes del medio el tejido puede formar órganos como raíces, brotes o embriones (Toral *et al.*, 2003).

---

<sup>1</sup> CABELLO, A. 2002. Académico del Departamento de Silvicultura, Facultad de Ciencias Forestales, Universidad de Chile. Comunicación personal.

Las técnicas de cultivo de tejido permiten la propagación de material tanto adulto como juvenil, a diferencia del método de propagación vegetativa a través de estacas donde es necesario utilizar plantas relativamente juveniles para propagar (Thanh Van, 1987).

Los tejidos extraídos (explantes) de árboles adultos pueden ser cultivados en medios nutritivos, para formar luego masas de células indiferenciadas (tejido calloso). Este tejido a continuación comienza a diferenciarse formando pequeños y múltiples brotes (Libby *et al.*, 1981).

Un estudio realizado en Francia reveló los explantes extraídos de plantas madres de secoya de un año de edad reaccionaron con más vigor que los brotes extraídos de plantas madres de dos años de edad (Boulay, 1979).

Un estudio actual llevado a cabo por Toral *et al.* (2003) mostró que es posible la propagación de secoya a través del cultivo de tejido (propagación *in vitro*). Para poder llevar a cabo la propagación fue necesario aplicar las siguientes etapas: fase de establecimiento, fase de multiplicación, fase de elongación, fase de enraizamiento y fase de aclimatación. Los resultados obtenidos fueron satisfactorios, obteniendo un factor de multiplicación promedio de 4,3. De acuerdo a estos resultados y a la discusión de los mismos se pudo inferir que es posible la obtención de un alto número de brotes a partir de poco material inicial, siendo una importante herramienta como apoyo a los programas de plantación y mejoramiento de esta especie.

A mediados de la década de los 70 ya se había avanzado bastante en las técnicas de cultivo y aunque el cultivo *in vitro* de la secoya a través del cultivo de tejidos es relativamente fácil en plantas juveniles, el interés estaba en poder propagar árboles ya adultos de calidad genética conocida (Ball *et al.*, 1978).

Por último, Walker *et al.* (1985) evaluó los efectos producidos por los reguladores del crecimiento y el pH del medio de cultivo en el cultivo de tejido de secoya. Constató que un pH inicial del medio de cultivo nutritivo de 6,2 reducido gradualmente después de 7 semanas fue muy favorable. La adición de kinetina redujo considerablemente la sobrevivencia de los explantes. En tanto que la aplicación de carbono activado incrementó la sobrevivencia al final del ensayo.

### 3.2.5.- Importancia y Utilidades

La belleza, el color y la durabilidad de su madera, convierten esta especie en una de las más valiosas para el hombre. Además, es conocido como un árbol de crecimiento rápido, que alcanza altos rendimientos. Esto ha sido determinante para que muchos países inicien plantaciones experimentales con secoya (Kannegiesser, 1990; Alden, 1997).

Sus características físicas y mecánicas la ubican dentro de las maderas blandas más cotizadas en Norteamérica. Su alta resistencia, estabilidad dimensional, durabilidad natural, facilidad de secado y adherencia a pinturas y barnices, la hace adecuada para su uso en revestimientos exteriores, interiores y en general en una amplia gama de usos en construcción y muebles (Exss y Gilabert, 1988; Kannegiesser, 1990; Alden, 1997; Ramírez, 2002).

La madera de secoya corresponde a una de las más valiosas en los mercados internacionales, siendo empleada para diversos fines, tales como chapas, muebles de interior y de jardín, estructuras agrícolas e incluso producción de pulpa (Serra, 1987; Ramírez, 2002). Es utilizada ampliamente en la construcción, puertas, marcos, persianas y revestimientos de interior. Presenta un uso menor en elementos estructurales y obras mayores de construcción. También se utiliza como materia prima para la industria de tableros, madera aserrada y elaborada, cajas y cajones, postes y pilotes (Olson y Roy, 1989; Kannegiesser, 1990; Alden, 1997).

Su madera duraminizada es de color rosado (debido a la presencia de taninos), muy liviana y blanda y con una densidad básica menor de  $0,3 \text{ g/cm}^3$  (Rodríguez y Rodríguez, 1983). Es muy resistente frente a los ataques de hongos y frente a los insectos, especialmente a las termitas (Everett, 1982; Serra, 1987; Olson y Roy, 1989; Alden, 1997).

A mediados del siglo XIX se realizaron los primeros intentos por introducir esta especie en distintos países a nivel mundial (Kannegiesser, 1990). Secoya ha sido cultivada fuera de su área natural desde antes del 1800, en Europa y posteriormente en el resto del mundo (Bailey y Bailey, 1976; Everett, 1982; Serra, 1987).

En Chile, la Sequoia se introdujo con fines ornamentales durante las últimas décadas del siglo XIX. Ya en el año 1952 se proyectaba que esta especie sería de interés



para ser plantada en bosques de gran extensión, en pequeños grupos o como cortina de protección contra el viento y el fuego (INFOR, 1998).

También en Chile, algunos registros del siglo pasado indicaron que esta especie podría servir para el desarrollo del sector forestal. En efecto, Albert (1908) posiciona a ésta en el sexto lugar dentro de un ranking de siete especies. Por otro parte, Weber (1957) recomienda la plantación de secoya en Villarrica y Osorno, ya que ésta ha dado buenos resultados.

Se cree que puede ser una especie adecuada para la estabilización de dunas, procurando que los vientos marinos no lleguen sobre ella (INFOR, 1998). Sin embargo, Castro (1939), indicó que secoya fue plantada en las dunas de Chanco (VII Región) a modo de experimento, pero no se obtuvo resultados satisfactorios.

Esta especie se introdujo en el país en términos experimentales, con el llamado Plan Chillan<sup>2</sup>. Este plan se llevó a cabo entre los años 1955 y 1958. Gran porcentaje de los ejemplares plantados en Chile provienen de las plantaciones realizadas por el Plan Chillan.

Los rendimientos de la especie dependen directamente de la calidad del sitio. En rodales manejados en California, los incrementos volumétricos alcanzan los 13 m<sup>3</sup>/ha/año (Lindquist y Palley, 1963). En Chile en tanto, las experiencias indican que con un adecuado mejoramiento genético y la selección de sitios de plantación es posible obtener una productividad media entre 20 a 25 m<sup>3</sup>/ha/año (Toral *et al.*, 2003).

---

<sup>2</sup> LOPEZ, J. 2003. Ingeniero Agrónomo, Centro de semillas CONAF Chillán, Chile. Comunicación personal.

## **4.- MATERIAL Y MÉTODO**

### **4.1.- MATERIAL**

#### **4.1.1.- Instalaciones y Ubicación del Ensayo**

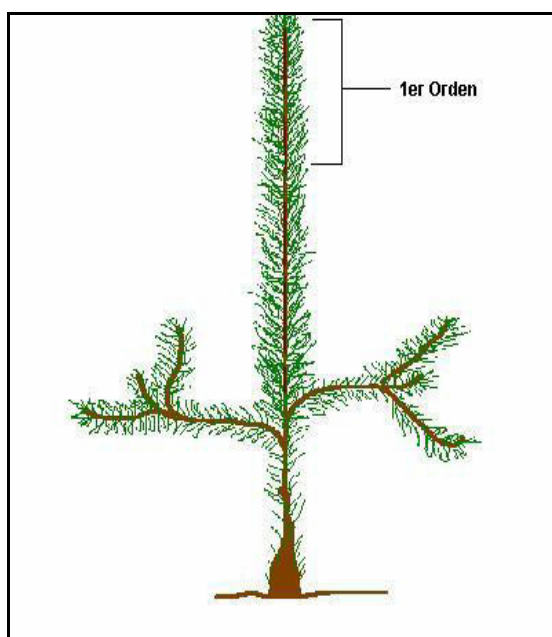
El ensayo fue instalado en el “Vivero San Ignacio” ubicado en la comuna de Isla de Maipo, Provincia del Maipo, aproximadamente a 60 km al sur de Santiago. Aquí se llevó a cabo la obtención de datos para la realización de este estudio.

El vivero cuenta con una superficie de aproximadamente 2,5 hectáreas de terreno, en la cual se encuentran dispuestas varias almacigueras, módulos y platabandas con sombreaderos de malla Raschell; además de un invernadero convencional rústico de cúpula. Éste poseía una estructura de metal, cubierta con polietileno y malla raschell sobrepuesta. Sus dimensiones correspondían a un largo de 35 m por un ancho de 10 m. No poseía sistema de ventilación (extracción de aire), ni tampoco sistemas de control de temperatura (calefacción y camas calientes) y humedad relativa. En el interior del invernadero estaban los mesones de madera que sostenían a los contenedores que contenían a las estacas y a los aspersores que formaban parte del sistema de riego no tecnificado que poseía el invernadero.

#### **4.1.2.- Descripción del material vegetativo**

Las plantas madres de las cuales se obtuvieron las estacas eran de diferentes calidades de acuerdo a su origen. En este caso se utilizaron siete plantas madres diferentes: plantas provenientes de semilla comercial, plantas originadas de semilla plus A, B, y C, y por último, clones de cultivo de tejido, de códigos RB54-22(5-13), RB54-22(5-19) y RB2-23(6-15). Las estacas utilizadas en el experimento correspondieron específicamente a estacas de primer orden. Éstas se obtuvieron del extremo terminal o apical de la planta madre y que correspondió al segmento originado en la última temporada de crecimiento. Al momento de extraer las estacas, la edad de las plantas madres era de 2,5 años aproximadamente. Una esquematización de la planta madre y de la sección de la cual se extrajeron las estacas, se detalla en la Figura 1.

Luego que la estaca fue extraída de la planta madre, le fue cortado el ápice (el extremo superior de la estaca), con el fin de favorecer la activación de yemas axilares (para que posteriormente éstos tomaran la dominancia en el crecimiento), quedando finalmente secciones o estacas de una longitud entre 20 a 25 cm aproximadamente. La longitud de las estacas varió debido a que siempre se decidió cortar las estacas por debajo de un nudo o brote de rama. Esto con el objeto de dejar zonas con tejidos meristemáticos que pudiera formar raíces.



**FIGURA 1.** Esquema de una planta madre de 2,5 años de edad. En él se señala el extremo del cual se obtuvieron estacas de primer orden, utilizadas en el ensayo.

#### **4.1.3.- Obtención y procedencia del material de propagación**

En el estudio se utilizaron estacas de secoya, obtenidas de plantas madres ingresadas al país hace tres años aproximadamente, provenientes de los Estados Unidos. Estas plantas fueron donadas a la Universidad de Chile por la empresa FORESTAL SIMPSON CHILE S.A., para uso experimental y académico a través del Proyecto FONDEF D01 I 1008 "Silvicultura y Manejo de la Sequoia en Chile y Fomento de su Plantación Forestal Sustentable".

Las semillas de las cuales provinieron las plantas madres plus A, B y C fueron recolectadas de huertos semilleros, ubicados en distintos lugares de la costa centro-norte del estado de California (EE.UU.). La semilla comercial se colectó en bosques de secoya manejados ubicados también en la misma zona. El material parental clonal o de cultivo de tejido (RB54-22(5-13), RB54-22(5-19) y RB2-23(6-15)) provino de la localidad de Horbel, próximo a la ciudad de Eureka, en California, y corresponden a líneas específicas que se han preservado hasta la fecha.

La selección y elección del material parental correspondió a la utilización de un criterio global; se eligieron plantas madres (originadas de semillas y clonadas) que provinieran de zonas que se asimilaran lo más posible en latitud a las zonas de plantación donde estas plantas serían destinadas finalmente, englobando a la vez tres criterios específicos como fueron: clima, suelo y altitud.

#### **3.1.4.- Material de vivero**

Las estacas fueron implantadas en contenedores de aislapol ("speedling") corrientes, de 84 cavidades cilíndricas (que disminuyen su diámetro a medida que aumenta su profundidad). Estos recipientes son usados normalmente por la empresas forestales en la producción y propagación de plantas a gran escala. Se utilizaron 84 contenedores en total.

En la propagación de estacas se ocuparon dos sustratos; el primero de ellos corresponde a arena fina con piedrecillas y el segundo corresponde a una mezcla de arena con tierra (de hojas) y maicillo (material de origen granítico), en proporciones iguales (1:1:1). Los sustratos utilizados no fueron sometidos a análisis químicos, ni tampoco de textura.

En la propagación vegetativa de plantas, la arena ha sido utilizada como sustrato de enraizamiento, debido principalmente a su bajo costo y fácil obtención (Hartmann y Kester, 1988). Sin embargo, la arena, que es un sustrato mineral, no retiene la humedad como lo hacen otros medios, necesitando riegos más frecuentes. Es un sustrato pesado y al usarse debe estar libre de materia orgánica y de tierra (medio esterilizado). La arena debe ser lo suficientemente fina como para retener cierta humedad alrededor de las estacas y lo bastante gruesa para permitir el drenaje del agua. Cuando se emplea sola, la arena de

partículas demasiado finas o demasiado gruesas, no da buenos resultados en el enraizamiento de estacas de varias especies leñosas probadas (Hartmann y Kester, 1988).

Debido a esto último, y también al aspecto práctico y de costos, es que el otro sustrato utilizado correspondió a un tipo de mezcla orgánico-mineral de suelo, compuesta de arena, tierra (de hojas) y material de suelos graníticos (denominado maicillo) en iguales proporciones.

Cabe señalar también que, de acuerdo a experiencias anteriores en el vivero, la tierra sola como medio de arraigamiento se compactaba demasiado, lo que provocaba dificultades (daño físico a la estaca) al momento de extraer la estaca del sustrato ( y de la cavidad). Es por esto que se optó por suavizar el sustrato tierra mezclándola con arena y maicillo. Esta mezcla pretende probar una alternativa de medio de enraizamiento a los ya conocidos y utilizados con anterioridad, además de ser de fácil manipulación, obtención y de bajo costo para el propagador (Hermosilla, 1996).

## **4.2.- MÉTODO**

### **4.2.1.- Diseño del experimento**

Debido a que el objetivo general de este estudio fue evaluar la capacidad de enraizamiento en estacas de secoya, bajo los distintos efectos que puedan causar tres factores predeterminados, se optó por el diseño de un experimento factorial. En este caso se desea observar la respuesta de una variable sometida a la influencia de distintos factores. Un factor sería una causa o variable independiente, que puede variar a voluntad del investigador. En un experimento factorial, los factores son cada uno de los tratamientos básicos que intervienen en la formación de una combinación de tratamientos (Ostle, 1968; Cochran y Cox, 1971; Chacín, 2000).

Fueron tres los factores utilizados en el experimento:

- **Factor A:** Plantas madres
- **Factor B:** Sustratos
- **Factor C:** Regulador de crecimiento (hormona)

El factor **A** estuvo compuesto por 7 niveles que se refieren específicamente a la diversidad de las plantas madres utilizadas en el ensayo.

- Nivel 1: estacas extraídas de plantas madres originadas a partir de semilla plus A
- Nivel 2: estacas extraídas de plantas madres originadas a partir de semilla plus B
- Nivel 3: estacas extraídas de plantas madres originadas a partir de semilla plus C
- Nivel 4: estacas extraídas de plantas madres originadas a partir de semilla comercial
- Nivel 5: estacas extraídas de plantas madres originadas del clon RB54-22(5-13)
- Nivel 6: estacas extraídas de plantas madres originadas del clon RB54-22(5-19)
- Nivel 7: estacas extraídas de plantas madres originadas del clon RB2-23(6-15)

El factor **B** se compuso de 2 niveles y se refiere específicamente a los sustratos utilizados.

- Nivel 1: sustrato arena pura (A)
- Nivel 2: sustrato mezcla (M)

El factor **C** se compuso de 2 niveles y se refiere a la presencia o ausencia de un regulador del crecimiento (hormona). El utilizado en este caso fue ácido naftalenacético (conocido también por su sigla: ANA o NAA) al 0,4% o 4.000 ppm. Se ocupó una mezcla de polvo talco, cuyo nombre comercial es Keryroot<sup>®</sup>, que además incluye un fungicida (Captan<sup>®</sup>). En ésta y en las secciones posteriores el regulador de crecimiento (ANA) será denominado “Hormona”, debido a la simplicidad del término.

- Nivel 1: con aplicación del regulador de crecimiento (con Hormona)
- Nivel 2: sin aplicación del regulador de crecimiento (sin Hormona)

La combinación total de niveles de factores corresponde a 28 combinaciones de tratamientos que fueron aplicados a las unidades experimentales. El factorial consideró a cada contenedor como una unidad experimental y también como una combinación de tratamiento para efectos del análisis (Canavos, 1988).

Cada uno de los tratamientos formulados, fueron asignados aleatoriamente a las unidades experimentales. La aleatorización hace válida la prueba, haciéndola apropiada para analizar los datos como si la suposición de errores independientes fuera cierta. (Ostle, 1968; Kuehl, 2001).

Cada unidad experimental se compuso de un contenedor con 84 estacas implantadas y corresponde a la vez, a una combinación de tratamiento (Figura 2). De estas 84 estacas, sólo se midieron las 24 centrales, que correspondió a la unidad efectiva medida. Las 60 estacas restantes contribuyeron a formar los hilos de bordura, que contribuyeron a minimizar el efecto borde y entre tratamientos.

b	b	b	b	b	b	b
b	b	b	b	b	b	b
b	b	X	X	X	b	b
b	b	X	X	X	b	b
b	b	X	X	X	b	b
b	b	X	X	X	b	b
b	b	X	X	X	b	b
b	b	X	X	X	b	b
b	b	X	X	X	b	b
b	b	X	X	X	b	b
b	b	X	X	X	b	b
b	b	b	b	b	b	b
b	b	b	b	b	b	b

**FIGURA 2.** Esquema de una unidad experimental (contenedor). En ella se señalan con una “X”, las 24 estacas centrales que fueron monitoreadas mensualmente y medidas al final del ensayo (unidad efectiva) y, con una “b”, las 60 estacas que contribuyeron a contrarrestar el efecto borde (hilos de bordura). El total es de 84 estacas por contenedor.

## 4.2.2.- Diseño y Análisis estadístico

### 4.2.2.1.- Análisis y modelo estadístico

El diseño estadístico utilizado correspondió a un diseño completamente al azar con arreglo factorial, de tres factores. Cuando un factorial de tres factores está asociado con un diseño completamente aleatorio, que implica  $n$  unidades experimentales por combinación de tratamiento, y el investigador se interesa en los  $a$  niveles del factor A, en los  $b$  niveles del factor B y en los  $c$  niveles del factor C, presentes en el experimento, el modelo apropiado, es el Modelo I o de efectos fijos, para un DCA con arreglo factorial de tres factores. El modelo estadístico apropiado según Ostle (1968), Del Pino y Gouet (1978), Chacín (2000) y Devore (2001) es:

$$Y_{ijkl} = \mu + \alpha_i + \beta_j + \gamma_k + (\alpha\beta)_{ij} + (\alpha\gamma)_{ik} + (\beta\gamma)_{jk} + (\alpha\beta\gamma)_{ijk} + \varepsilon_{ijkl};$$

Con  $i = 1, \dots, a$

$j = 1, \dots, b$

$k = 1, \dots, c$

$l = 1, \dots, n$ , donde;  $a = 7$ ,  $b = 2$ ,  $c = 2$  y  $n = 3$

donde,

$Y_{ijkl}$  : es la  $l$ -ésima observación de la variable respuesta para la  $(ijk)$ -ésima combinación de tratamientos.

$\mu$  : es el efecto medio verdadero.

$\alpha_i$  : es el efecto verdadero del  $i$ ésimo nivel del factor A (plantas madres: 7).

$\beta_j$  : es el efecto verdadero del  $j$ taésimo nivel del factor B (sustratos: 2).

$\gamma_k$  : es el efecto verdadero del  $k$ aésimo nivel del factor C (presencia o ausencia de hormona: 2).

$(\alpha\beta)_{ij}$  : es el efecto verdadero de la interacción del  $i$ ésimo nivel del factor A con el  $j$ taésimo nivel del factor B.

$(\alpha\gamma)_{ik}$  : es el efecto verdadero de la interacción del  $i$ ésimo nivel del factor A con el  $k$ aésimo nivel del factor C.

$(\beta\gamma)_{jk}$  : es el efecto verdadero de la interacción del  $j$ taésimo nivel del factor B con el  $k$ aésimo nivel del factor C.



$(\alpha\beta\gamma)_{ijk}$  : es el efecto verdadero de la interacción del *i*ésimo nivel del factor A con el *j*taésimo nivel del factor B y con el *k*ésimo nivel del factor C.

$\varepsilon_{ijkl}$  : es el efecto verdadero (error aleatorio) de la *l*ésima unidad experimental sujeta a la (*ijk*)ésima combinación de tratamiento (Ostle, 1968; Canavos, 1988).

Se supone que  $\mu$  es una constante y que las  $\varepsilon_{ijkl}$  están normalmente distribuidas con media 0 y varianza  $\sigma^2$  (Ostle, 1968; Canavos, 1988 y Devore, 2001). También el Modelo I (modelo de análisis de varianza; efectos fijos) cuenta con los siguientes supuestos, según Ostle (1968) y Chacín (2000):

$$\sum_{i=1}^a \alpha_i = \sum_{j=1}^b \beta_j = \sum_{k=1}^c \gamma_k = \sum_{i=1}^a \sum_{j=1}^b (\alpha\beta)_{ij} = \sum_{i=1}^a \sum_{k=1}^c (\alpha\gamma)_{ik} = \sum_{j=1}^b \sum_{k=1}^c (\beta\gamma)_{jk} = \sum_{i=1}^a \sum_{j=1}^b \sum_{k=1}^c (\alpha\beta\gamma)_{ijk} = 0$$

Los resultados (variables medidas), fueron analizados estadísticamente por medio de un análisis de varianza (ANDEVA), según lo señala el Modelo I (o de efectos fijos) (Ostle, 1968; Li, 1969; Montgomery, 1991). El análisis de varianza permitió comprobar la importancia o significancia del efecto de cada factor por separado (efectos principales) en el experimento, o bien, determinar la importancia o significancia del efecto de la interacción entre 2 ó 3 factores. Dicho de otra forma, el ANDEVA proporcionó el procedimiento inferencial para probar las hipótesis nulas del modelo (Canavos, 1988).

A continuación se exponen las hipótesis nulas de interés y su respectivo significado asociadas al modelo de efectos fijos y que fueron probadas en el ANDEVA:

- 1.-  $H_0: \alpha_i = 0$ , para toda  $i = 1, \dots, a$  (el efecto que producen las plantas madres sobre la variable respuesta es nulo o no es significativo).
- 2.-  $H_0: \beta_j = 0$ , para toda  $j = 1, \dots, b$  (el efecto que produce el sustrato sobre la variable respuesta es nulo o no es significativo).
- 3.-  $H_0: \gamma_k = 0$ , para toda  $k = 1, \dots, c$  (el efecto que produce la hormona sobre la variable respuesta es nulo ó no es significativo).
- 4.-  $H_0: (\alpha\beta)_{ij} = 0$ , para toda  $i = 1, \dots, a$ ;  $j = 1, \dots, b$  (el efecto combinado que producen las plantas madres y el sustrato sobre la variable respuesta es nulo o no es significativo).

5.-  $H_0: (\alpha\gamma)_{ik} = 0$ , para toda  $i = 1, \dots, a$ ;  $k = 1, \dots, c$  (el efecto combinado que producen las plantas madres y la hormona sobre la variable respuesta es nulo o no es significativo).

6.-  $H_0: (\beta\gamma)_{jk} = 0$ , para toda  $j = 1, \dots, b$ ;  $k = 1, \dots, c$  (el efecto combinado que producen los sustratos y la hormona sobre la variable respuesta es nulo o no es significativo).

7.-  $H_0: (\alpha\beta\gamma)_{ijk} = 0$ , para toda  $i = 1, \dots, a$ ;  $j = 1, \dots, b$ ;  $k = 1, \dots, c$  (el efecto combinado que producen las plantas madres, los sustratos y la hormona sobre la variable respuesta es nulo o no es significativo).

En tanto las hipótesis alternativas de cada hipótesis nula fueron las siguientes:

1'.-  $H_0: \alpha_i \neq 0$ , para toda  $i = 1, \dots, a$  (el efecto que producen las plantas madres sobre la variable respuesta es significativo)

2'.-  $H_0: \beta_j \neq 0$ , para toda  $j = 1, \dots, b$  (el efecto que producen los sustratos sobre la variable respuesta es significativo).

3'.-  $H_0: \gamma_k \neq 0$ , para toda  $k = 1, \dots, c$  (el efecto que produce la hormona sobre la variable respuesta es significativo).

4'.-  $H_0: (\alpha\beta)_{ij} \neq 0$ , para toda  $i = 1, \dots, a$ ;  $j = 1, \dots, b$  (el efecto combinado que producen las plantas madres y los sustratos sobre la variable respuesta es significativo).

5'.-  $H_0: (\alpha\gamma)_{ik} \neq 0$ , para toda  $i = 1, \dots, a$ ;  $k = 1, \dots, c$  (el efecto combinado que producen las plantas madres y la hormona sobre la variable respuesta es significativo).

6'.-  $H_0: (\beta\gamma)_{jk} \neq 0$ , para toda  $j = 1, \dots, b$ ;  $k = 1, \dots, c$  (el efecto combinado que producen el sustrato y la hormona sobre la variable respuesta es significativo).

7'.-  $H_0: (\alpha\beta\gamma)_{ijk} \neq 0$ , para toda  $i = 1, \dots, a$ ;  $j = 1, \dots, b$ ;  $k = 1, \dots, c$  (el efecto combinado que producen las plantas madres, los sustratos y la hormona sobre la variable respuesta es significativo).

El nivel de significación ( $\alpha$ ) corresponde a la probabilidad de rechazar 1 de las 7 hipótesis, dado que es verdadera (igual para las otras 6). En la prueba F de los análisis de varianza realizados, se utilizó un nivel de significación  $\alpha$  del 0,05 (5 %).

Las variables observadas (medidas) y analizadas estadísticamente a través del ANDEVA fueron: el porcentaje de enraizamiento, volumen radicular, peso seco radicular y porcentaje de sobrevivencia de las estacas. Por lo tanto las hipótesis de prueba de los

efectos principales y de interacción formaron parte del análisis de varianza de las variables dependientes nombradas anteriormente.

Antes de realizar el análisis de varianza, fue necesario transformar los valores de las variables medidas expresados en porcentaje (% de enraizamiento y % de sobrevivencia) con el objetivo de que cumplieran con los supuestos de normalidad del modelo estadístico utilizado. Para esto se utilizó la transformación de Bliss o también conocida como transformación angular y que responde a la aplicación de la siguiente operación:

Transformación de Bliss:	$Y' = \text{arc sen } \sqrt{p/100}$
--------------------------	-------------------------------------

donde  $p$  es el valor en porcentaje de la variable observada (Ostle, 1968; Box y Hunter, 1989).

#### 4.2.2.2.- Prueba estadística de comparación múltiple

Si el ANDEVA rechaza una o algunas de las hipótesis, sólo se puede concluir que existe interacción entre los distintos factores del experimento, o bien, que existen diferencias estadísticamente significativas entre las medias de los distintos niveles de cada factor. En este caso fue de interés realizar y aplicar un análisis estadístico adicional que permitió establecer cuales medias de tratamiento (o de combinación de tratamientos) fueron diferentes o equivalentes entre si, o bien, que combinación de tratamiento fue la mejor (Ostle, 1968; Ott, 1984; Canavos, 1988). La prueba seleccionada para encontrar las diferencias significativas fue la Prueba de Tukey o conocida también como prueba de la diferencia honestamente significativa (DHS).

#### 4.2.3.- Variables medidas

A continuación se presentan las variables que fueron consideradas tanto en la medición parcial (variables monitoreadas mensualmente a través del período experimental), como en la medición final.

#### 4.2.3.1.- Variables de medición parcial

Estas variables auxiliares fueron consideradas y registradas en el monitoreo realizado mensualmente al ensayo. Para registrar estas variables, se observaron a simple vista los cambios que presentaban las estacas en el momento de cada monitoreo. Éstas se utilizaron para apoyar el análisis de la capacidad de arraigamiento de las estacas. Por lo tanto, estas variables no fueron sometidas a un análisis estadístico.

- Mortalidad y Necrosis

Mensualmente fueron registradas, a través de simple conteo, las estacas que se encontraban muertas dentro de la unidad experimental efectiva. También se registraron mensualmente las estacas que presentaban algún grado de necrosis (daño biótico), formulando dos grados: parcialmente necrótica y totalmente necrótica. Los datos registrados corresponden a valores obtenidos de acuerdo al total de estacas monitoreadas mensualmente, cabe decir, 2.016 estacas (24 estacas por UE x 3 repeticiones x 28 combinaciones de tratamientos, que dan un total de 2.016 estacas).

- Presencia de brotes

Mensualmente se fue registrando la cantidad de estacas que presentaban brotes nuevos de temporada dentro de cada unidad experimental, para cada tratamiento y sus respectivas repeticiones.

#### 4.2.3.2.- Variables de medición final

Estas variables fueron medidas una vez que finalizó el ensayo, a fines de julio del 2003 y corresponden específicamente a las variables que fueron analizadas estadísticamente a través de un análisis de varianza y una prueba de comparación de medias.

- Porcentaje de sobrevivencia

Es la proporción en porcentaje de las estacas que se encontraban vivas al momento de levantar el ensayo y ser desarraigadas, respecto del total de estacas de la unidad experimental efectiva (24 estacas centrales) e independientemente si hubiesen enraizado o no. La medición se efectuó a través del simple conteo de las estacas que se encontraban vivas para cada combinación de tratamiento y sus respectivas repeticiones.

- Porcentaje de enraizamiento

Es la proporción en porcentaje de las estacas que enraizaron (formaron raíces en algún grado), respecto del total de estacas de la unidad experimental efectiva (24 estacas centrales). La medición se efectuó a través del simple conteo de las estacas que enraizaron para cada tratamiento y sus respectivas repeticiones.

- Volumen radicular

El volumen radicular que lograron formar las 24 estacas de cada unidad experimental fue medido en el momento que se desmontó el ensayo. Éste se midió por medio del desplazamiento de agua que se produjo al sumergir las raíces en probetas de vidrio graduadas de 100, 50 y 25 cc. La medición del volumen radicular por estaca no consideró el tejido caloso. Para el análisis estadístico, se consideró el volumen radicular promedio de las 24 estacas de cada unidad experimental efectiva.

- Peso seco de raíces

En el laboratorio se procedió al secado de las raíces. Las bolsas de papel, donde fueron almacenadas las raíces fueron puestas a secar dentro del horno de secado en el laboratorio, a una temperatura de 75 °C, durante 50 horas aproximadamente. Luego se procedió a determinar el peso seco de las raíces. Para el análisis estadístico, se trabajó con el promedio por unidad experimental del peso ceso radicular.

#### **4.2.4.- Procedimientos y Condiciones generales del Ensayo**

Como se mencionó, el ensayo de enraizamiento fue instalado en el invernadero del vivero "San Ignacio" entre los días 15 y 17 de mayo del año 2002 y tuvo una duración de 14 meses, finalizando el 30 de julio del 2003.

##### **4.2.4.1.- Instalación del ensayo**

- **Desinfección**

Se comenzó con la desinfección de todos los contenedores (84 en total), en los cuales fueron implantadas las estacas, utilizando una mezcla de agua con cloro, en una proporción de 9 l de agua por 1 l de cloro, para lo cual se utilizó una bomba portátil de espalda de 15 l de capacidad.

- **Baño de Cobre**

Posteriormente a los contenedores se les aplicó un baño con una mezcla de pintura (latex) y un fungicida cúprico (Agro Cu 50: Oxiclورو de Cobre + humectante adherente) en la siguiente concentración: 20 l de pintura latex/200 l H<sub>2</sub>O/6 kg Agro Cu (esparcida mediante una bomba portátil). Esto último con el fin de lograr que las raíces de las estacas, en su crecimiento y desarrollo, no penetraran ni se adhirieran a las paredes de las cavidades de los contenedores que las contienen, y así disminuya la dificultad en la extracción de las estacas, al momento de desmontar el ensayo.

- **Preparación del sustrato**

Se utilizó 1 m<sup>3</sup> de arena fina con piedrecillas aproximadamente. La mezcla tierra, arena y maicillo se realizó utilizando una carretilla, con la cual se transportaron cantidades iguales de los tres materiales al lugar donde fueron mezclados, ocupando para esto una pala arenera de tamaño normal. A continuación se realizó el llenado de las bandejas con los

dos sustratos. Se llenaron 42 contenedores con sustrato mezcla y los restantes 42, se llenaron con sustrato arena, según lo dispuesto en el diseño experimental.

- Corte, tratamientos e implante de las estacas

Luego de la preparación del sustrato se procedió a extraer (cortar) las estacas. Antes de ser implantadas, una proporción del total de las estacas (según lo señalaba la combinación de tratamiento factorial del diseño experimental) y sólo en su porción basal, fueron tratadas con un regulador (promotor) de crecimiento. Antes del implante y de la aplicación de la hormona todas las estacas fueron desinfectadas mediante la aplicación de un baño antifúngico en la siguiente concentración: 20 g de Captan (fungicida de contacto) diluidos en 10 l de H<sub>2</sub>O.

#### 4.2.4.2.- Cuidado y control de las estacas

El cuidado y control de las estacas se refiere a todas las actividades y procesos que normalmente se llevan a cabo en un vivero, más específicamente, al interior del invernadero. Estas actividades correspondieron al riego, control fitosanitario, fertilización, desmalezado y poda. También registró la temperatura y se realizó un monitoreo mensual del experimento.

- Riego

Una vez finalizado el establecimiento del ensayo, las estacas debieron ser regadas una vez al día por un tiempo de 4 minutos, durante los primeros 6 meses de la temporada otoño-invierno por medio de un sistema de riego por aspersión no tecnificado. En los meses de primavera-verano fue necesario regar más de una vez al día, durante 3 ó 4 minutos, debido a las altas temperaturas registradas en estos meses y con esto poder contrarrestar (bajar) las elevadas temperaturas dentro del invernadero, tratando al mismo tiempo de minimizar el riesgo de estrés o de la aparición de algún daño abiótico en las estacas.

- Control fitosanitario

El control fitosanitario correspondió a la aplicación de un fungicida una vez al mes en la temporada invernal. Cuando las temperaturas aumentaron (primavera-verano) debió ser aplicado cada 15 días a las estacas. El fungicida utilizado fue Folicur 25 EW, en solución de 22 cc/ 10 l de agua. De esta solución se aplicó 10 a 15 cc por m<sup>2</sup>, según lo indicado por el fabricante.

- Fertilización (foliar)

Todas las semanas, en los primeros cuatro meses y cada 15 días se aplicó un fertilizante foliar (Bayfolán en solución 50 cc/ 20 litros de agua, según lo recomendado por el fabricante), para luego disminuir la intensidad a dos veces al mes, entre los meses de octubre del 2002 y febrero del 2003. A fines de marzo se suspendió la aplicación del fertilizante, debido a que se observó que varias plantas comenzaron a presentar síntomas adversos, tales como marchitez y necrosis en hojas y tallos.

- Desmalezado

Este procedimiento se realizó una o dos veces al mes, dependiendo de la cantidad de maleza que apareciera en las bandejas. Básicamente este proceso consistió en extraer manualmente el material vegetal que no correspondía a las estacas ensayadas.

- Poda

En los meses de octubre y diciembre del 2002 se realizaron respectivamente dos podas a las estacas del ensayo. La poda en cada mes consistió en cortar parcialmente (dejando algunas hojas) las hojas de las estacas que presentaban algún brote nuevo emergido o emergiendo directamente del tallo. En la poda realizada en diciembre se incluyó un corte o rebaje de las hojas de estacas que no presentaban brotes de tallo.

El objetivo principal de estas podas consistió en concentrar el crecimiento y desarrollo en los brotes nuevos que emergían directamente del tallo y también evitar la



formación de hongos en las estacas, mejorando la aireación. Cabe destacar que esta poda formó parte del experimento global. Esto quiere decir que la poda es parte o se suma a cada tratamiento y su efecto en el enraizamiento no fue determinado independientemente, ni tampoco fue objeto de un análisis particular.

- Monitoreo del ensayo

El monitoreo, realizado mensualmente, correspondió a la observación y registro de necrosis, mortalidad y presencia de brotes en las estacas de cada unidad experimental. Para registrar estas variables, se observaron a simple vista los cambios que presenten las estacas en el momento de cada monitoreo, para luego ser anotadas en el formulario de monitoreo.

Es importante destacar que, durante los meses de verano fue necesario retirar el polietileno que cubría a las estacas del ensayo en el invernadero, debido a que la temperatura alcanzó rangos críticos al interior del invernadero (30 a 32 ° C en las horas de más calor), lo que implicó en su momento, condiciones desfavorables para las estacas.

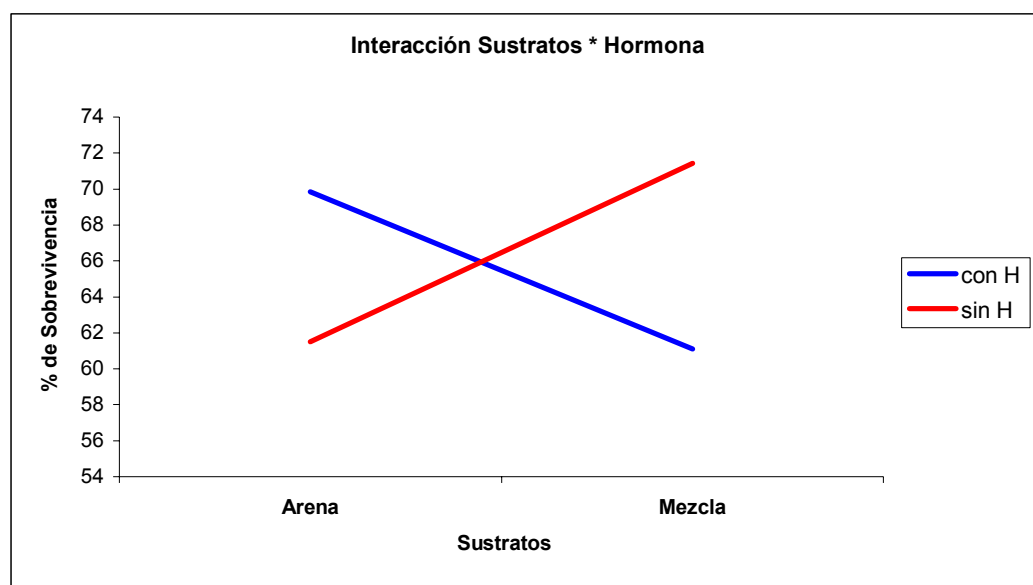
De manera paralela al experimento principal y para observar, monitorear y analizar el crecimiento radicular y el momento en que comenzaron a aparecer las primeras raíces de las estacas, se instalaron 21 macetas transparentes de vidrio, donde se consideraron las 7 plantas madres ya mencionadas. Estas estacas fueron tratadas con ANA (ácido naftalenacético) en polvo talco y luego implantadas en sustrato mezcla (arena + maicillo + tierra). Este experimento contó con 3 repeticiones. A modo de interpretación se puede decir que el experimento general se encuentra reproducido a una menor escala en las macetas transparentes. En este procedimiento se ocupó mezcla como sustrato.

También se llevó a cabo un registro de la temperatura ambiente, tanto al interior y exterior del invernadero, como de la temperatura del sustrato de todas las unidades experimentales. Esta medición se realizó una vez por semana, tres veces al día; a las 8, 12 y 18 horas, desde septiembre del 2002, hasta julio del 2003. Esta variable auxiliar no fue analizada directamente, solo sirvió para apoyar el análisis de la mortalidad acumulada a través del período experimental.

## 5.- RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 5.1.- PORCENTAJE DE SOBREVIVENCIA

De acuerdo a los datos obtenidos (Apéndice 1a) y su posterior análisis estadístico (ANDEVA) ocupando un nivel de significación  $\alpha$  del 0,05, se constató que el efecto de la interacción entre las plantas madres, los sustratos y la hormona no fue significativa, debido a ello la hipótesis nula correspondiente del modelo ( $\alpha\beta\gamma = 0$ ) no fue rechazada (Apéndice 1b). Sin embargo, se detectó un efecto significativo producido en el porcentaje de sobrevivencia de las estacas por la interacción entre los sustratos y la hormona. Esta situación se ve representada gráficamente en la Figura 3.



**FIGURA 3.** Representación gráfica para la interacción entre los sustratos y la hormona. El no paralelismo de las curvas indica que existe interacción entre los factores mencionados.

Debido al efecto de la interacción detectada en el ANDEVA, se procedió a realizar la diferencia de medias, por medio de la prueba de Tukey (Apéndice 1c). La prueba no encontró ninguna diferencia significativa. Dado lo anterior, se realizó un análisis de varianza y la prueba de diferencias de pares de medias a un nivel de significación  $\alpha$  del 0,1 (10 %) (Apéndices 1e y 1f).

El ANDEVA realizado al 0,1 entregó un resultado similar al del ANDEVA al 0,05 (sólo dos efectos significantes: sustrato y hormona). De igual forma, la prueba de Tukey al 0,1 nuevamente tampoco detectó alguna diferencia. Aunque sólo para tener una visión de la interacción detectada, las medias de la interacción entre los sustratos y la hormona se detallan en el Cuadro 1.

**CUADRO 1.** Medias de la combinación de tratamientos para la interacción entre los sustratos y la hormona, según el porcentaje de sobrevivencia.

<b>Variable:</b>		<b>SUSTRATOS</b>	
% de Sobrevivencia (B*C)		Arena	Mezcla
<b>HORMONA</b>	con H	69,84	61,11
	sin H	61,51	71,43

Una posible respuesta a la situación anterior sería el nivel crítico que alcanza la significación de la interacción doble analizada. Visto de otro modo y ocupando un  $\alpha$  del 0,01 la hipótesis nula  $\beta\gamma = 0$  no se rechaza, por lo que el efecto de la interacción entre los sustratos y la hormona sería nulo (Apéndice 1g). Otra razón pudo ser, como lo señalan Ramírez y Castillo (1985) que existe la probabilidad de que los métodos de comparación de medias no encuentren diferencias significativas y difieran por entero de los resultados entregados por el ANDEVA en algunos casos de estudio.

En definitiva y para el análisis y discusión, se respetó el ANDEVA al 0,05 y se realizó la prueba de diferencias de medias de niveles (prueba de Tukey) para el efecto principal de la plantas madres en la sobrevivencia, que fue altamente significativo (Apéndice 1d).

En el Cuadro 1 se observa claramente que, el mayor porcentaje de sobrevivencia promedio de la interacción fue el efecto directo producido por el sustrato arena en combinación con la presencia de hormona.

Cabe destacar que el efecto producido por la hormona se apreció cuando se utilizó arena como sustrato. La hormona mejoró notablemente (aunque no significativamente, según la prueba de Tukey) el porcentaje de sobrevivencia, ocurriendo lo contrario cuando fue utilizada mezcla como sustrato. En este último caso la utilización de hormona empeoró el porcentaje de sobrevivencia en las estacas de secoya ensayadas. También es probable que la interacción de la hormona con el sustrato en ciertos niveles específicos, no sea favorable según el porcentaje de sobrevivencia.

Esto último puede ser difícil de comprender y explicar. Es posible que en este caso el efecto favorable de la aplicación de hormona en el porcentaje de sobrevivencia de las estacas de secoya sólo se aprecie cuando se utilice arena como sustrato de propagación. No se descarta tampoco, un posible lavado (lixiviado) de la hormona en la base de las estacas, que explicaría esta situación.

Como se estableció, el efecto de las plantas madres sobre el porcentaje de sobrevivencia de las estacas fue significativo. Para determinar cuales medias diferían significativamente de otras, se aplicó la prueba de Tukey al 0,05 (Apéndice 1d).

De acuerdo a las plantas madres, los niveles que obtuvieron los efectos medios más altos, según el porcentaje de sobrevivencia fueron RB 54-22(5-19), RB 54-22(5-13) y semilla Plus B y no difirieron significativamente entre si, pero si con los niveles semilla Comercial y RB 2-23(6-15), que presentaron los valores más bajos (Cuadro 2).

**CUADRO 2.** Efecto promedio de las plantas madres sobre el porcentaje de sobrevivencia.

Ranking del nivel	Niveles de las Plantas madres	% de sobreviv. promedio nivel	Dif. Signif. Tukey
1°	RB 54-22(5-19)	68,31	a
2°	RB 54-22(5-13)	64,81	a
3°	Semilla Plus B	63,98	a
4°	Semilla Plus C	60,00	ab
5°	Semilla Plus A	57,55	ab
6°	Semilla Comercial	43,61	bc
7°	RB 2-23(6-15)	32,20	c

Nota: los valores promedios con letras minúsculas iguales no presentan diferencias significativas entre si.

Estos resultados indican que los primeros cinco niveles que no difirieron entre si, se pueden considerar como el mejor material de propagación, en el caso que se desee la mejor sobrevivencia. Respecto a la sobrevivencia de los dos primeros niveles (RB 54-22(5-19) y RB 54-22(5-13)) puede decirse que no fue del todo objetiva, debido a que las plantas madres provenientes del cultivo de tejido presentaron los más bajos porcentajes de enraizamiento y la alta sobrevivencia detectada en los clones haya sido momentánea. En cambio, el porcentaje de sobrevivencia promedio detectado en estacas extraídas de plantas madres originadas de semilla plus (A, B y C) puede considerarse un valor más coherente, debido a que de las estacas (plus) que sobrevivieron, un gran porcentaje enraizó. Lo anterior puede deberse en general, a la baja correlación existente entre el porcentaje de

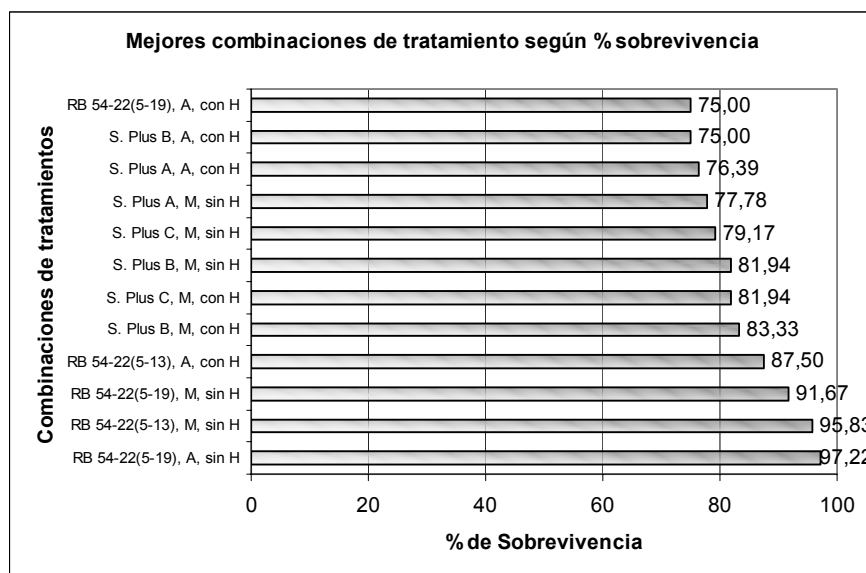
sobrevivencia y el porcentaje de enraizamiento ( $R = 0,39$ ). De aquí que los porcentajes promedios más altos obtenidos en ciertas combinaciones de tratamientos para el porcentaje de sobrevivencia, no hayan sido similares para el porcentaje de enraizamiento, utilizando de igual forma, las mismas combinaciones de tratamientos. En el Cuadro 3 se señalan las medias de combinación de tratamientos incluyendo los tres factores (interacción no significativa), según la sobrevivencia de las estacas.

**CUADRO 3.** Resultados promedios para el porcentaje de sobrevivencia, según la combinación entre las plantas madres, los sustratos y la hormona.

Variable observada:		PLANTAS MADRES													
% de sobrevivencia		S. Plus A		S. Plus B		S. Plus C		S. Comercial		RB 54-22(5-13)		RB 54-22(5-19)		RB 2-23(6-15)	
SUSTRATOS		A	M	A	M	A	M	A	M	A	M	A	M	A	M
HORMONA	con H	76,39	68,06	75,00	83,33	68,06	81,94	61,11	50,00	87,50	66,67	75,00	63,89	45,83	13,89
	sin H	52,78	77,78	70,83	81,94	68,06	79,17	47,22	36,11	63,89	95,83	97,22	91,67	30,56	37,50

Nota: A: arena, M: mezcla

De acuerdo a estos resultados del porcentaje de sobrevivencia, se elaboró un ranking de medias para las mejores 12 combinaciones de tratamientos. El ranking incluye solo los valores que promediaron por sobre un 75 % de sobrevivencia (Figura 4).



**FIGURA 4.** Resultados promedios más altos para el porcentaje de sobrevivencia originados por la combinación de los tres factores (plantas madres, sustratos y hormona).

Si se observa la Figura 4, se pueden constatar los altos porcentajes promedios de sobrevivencia de estacas obtenidos. Tal como se apreció en la discusión del efecto significativo que causaron las plantas madres en la sobrevivencia de las estacas de secoya, puede verse que en los resultados de porcentaje de sobrevivencia promedio en que participan los tres factores, así como en el análisis del factor principal, se obtuvo que las estacas extraídas de plantas madres originadas de los clones RB54-22(5-19) y RB54-22(5-13) arrojaron los mejores resultados. Llama la atención que justamente estos resultados se hayan obtenido sin la aplicación de hormona (ANA). Sin embargo, las combinaciones de tratamientos en que participaron las estacas extraídas de plantas madres originadas de semilla plus (A, B y C) también obtuvieron buenos porcentajes de sobrevivencia, aunque menores que los obtenidos en las combinaciones donde participaron las plantas madres originadas de clones (Figura 4).

## **5.2.- PORCENTAJE DE ENRAIZAMIENTO**

De acuerdo a los datos obtenidos (Apéndice 2a) y posterior ANDEVA, según el porcentaje de enraizamiento (Apéndice 2b), se observó que no existen diferencias significativas entre las medias de tratamiento por parte de las interacciones entre las plantas madres, los sustratos y la hormona. Dicho de otra forma, no se detectó algún tipo de interacción entre los factores ensayados. Esto quiere decir que el porcentaje de enraizamiento observado no se vió afectado significativamente por la influencia combinada o interacciones, tanto triples como dobles, de las plantas madres, los sustratos y de la hormona.

Por consiguiente, las hipótesis nulas formuladas de interacciones (triple y dobles) entre los factores estudiados, no fueron rechazadas, asumiendo un error del 0,05. Sin embargo, se encontraron diferencias significativas en los efectos que ejercieron independientemente sobre el enraizamiento, tanto las plantas madres como la hormona (Apéndice 2b). Esto quiere decir que, tanto en las plantas madres, como en el factor hormonal, existen diferencias significativas entre las medias de los niveles de cada factor por separado. Por consiguiente, dos de las tres hipótesis nulas de los efectos principales que contempla el modelo fueron rechazadas. El efecto del sustrato no fue significativo. Debido al rechazo de las dos hipótesis nulas y para saber cuales medias difieren de otras,

se aplicó la prueba de Tukey, para la comparación de todos los pares de medias de nivel de los efectos (de factores) que resultaron significativos.

De acuerdo a las plantas madres, el nivel que tuvo el efecto medio más alto para el porcentaje de enraizamiento fueron las estacas extraídas de plantas madres originadas de semilla plus C (Figura 5) con un promedio de 63,65 %, el cual difiere significativamente de otros cuatro niveles (Cuadro 4).



**FIGURA 5.** Estacas enraizadas de secoya extraídas de plantas madres originadas de semilla plus C. Aquí se aprecia la diferencia del crecimiento radicular cuando a la estaca se le aplicó hormona (ANA). M: sustrato mezcla; S: sin hormona; C: con hormona. Su período de enraizamiento corresponde a 14 meses.

**CUADRO 4.** Efecto significativo causado por las plantas madres en el enraizamiento promedio de estacas de secoya.

Ranking del nivel	Niveles de las plantas madres	% de enraizam. promedio nivel	Dif. Signif. Tukey
1°	Semilla Plus C	63,53	a
2°	Semilla Plus B	62,15	a
3°	Semilla Plus A	50,69	ab
4°	Semilla Comercial	40,28	bc
5°	RB 54-22(5-13)	39,58	bc
6°	RB 54-22(5-19)	39,24	bc
7°	RB 2-23(6-15)	20,49	c

Nota: los valores promedios con letras minúsculas iguales no presentaron diferencias significativas entre si.

Se debe señalar que entre los tres primeros niveles no se encontraron diferencias significativas, con lo que puede decirse que las plantas madres provenientes de semilla plus A, B y C son relativamente similares en cuanto al porcentaje de enraizamiento promedio observado y, además, son las que presentaron los mejores y más altos valores, que se diferencian significativamente de los otros cuatro niveles restantes. Entre los cuatro niveles restantes tampoco se detectaron diferencias entre sí, pero sí hubo diferencias comparándolos con los primeros tres niveles (Cuadro 4).

Las medias de los distintos niveles de las plantas se obtuvieron promediando todos los valores que abarca el nivel específico por sobre todos los niveles de los otros dos factores (sustratos y hormona). Para un mayor detalle, los resultados de la prueba de Tukey se pueden encontrar en el Apéndice 2c.

A continuación le siguió el nivel semilla plus B (Figura 6), el cual también presentó diferencias significativas con otros cuatro niveles (los mismos que las plantas originadas semilla plus C), con un promedio para el nivel de 62,15 %. Luego, y en tercer lugar, siguió el nivel semilla plus A (Figura 7), el cual presentó una diferencia significativa con otro único nivel del respectivo factor, con un promedio de 50,69 %.



**FIGURA 6.** Estacas enraizadas de secoya extraídas de plantas madres originadas de semilla plus B (A; arena; S: sin hormona; C: con hormona). Su período de enraizamiento corresponde a 14 meses.





**FIGURA 7.** Estacas enraizadas de secoya extraídas de plantas madres originadas de semilla plus A (M: sustrato mezcla; S: sin hormona; C: con hormona). Su período de enraizamiento corresponde a 14 meses.

Las diferencias encontradas en el factor analizado deja en evidencia que las plantas madres de las cuales se obtuvo las estacas, poseen un efecto significativo en el porcentaje de enraizamiento observado. Por un lado, se constató que las estacas obtenidas de plantas madres de secoya provenientes u originadas de semilla plus (A, B y C), tuvieron los más altos porcentajes de enraizamiento promedio. Por otro lado en cambio, las estacas extraídas de plantas madres de secoya originadas de semilla comercial y de plantas clonadas (RB2-23(6-15), RB54-22(5-13) y RB54-22(5-19) poseen los más bajos porcentajes de enraizamiento.

Esta situación se debe fundamentalmente, tanto a un factor genético, como a la edad fisiológica que presentaban las plantas madres al momento de extraer las estacas, que obviamente era mayor en plantas clonadas, aunque todas las plantas madres, tanto las originadas por cultivo de tejido, como las originadas a partir de semilla, poseían la misma edad de crecimiento (2,5 años aproximadamente).

Es sabido que muchas especies presentan una capacidad aumentada de iniciación de raíces adventicia durante la fase juvenil, que disminuye en la de transición, y que puede

desaparecer en la fase adulta (Dirr y Heuser, 1987; Cabello, 1990). Es posible que con la edad se acumulen inhibidores del enraizamiento como por ejemplo algunos tipos de fenoles, o bien disminuyen otros fenoles que favorecen el proceso (Botti, 1999). En algunas especies de coníferas (*Pseudotsuga menziesii* y *Pinus radiata*) y latifoliadas de difícil enraizamiento, se demostró que el factor individual más importante que influye en el arraigamiento, es la edad de la planta madre de la cual se tomaron las estacas (Hartmann y Kester, 1998).

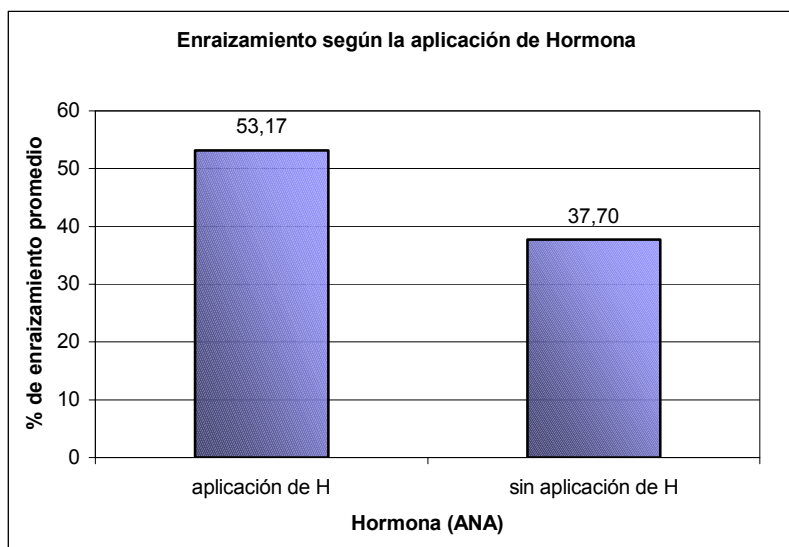
Debido a lo anterior, también se deduce que el tejido vegetal clonado, aunque es capaz de enraizar, no es un buen material para ser usado en la propagación vegetativa de secoya a través de estacas. Además el análisis de resultados, señaló que no existen diferencias significativas entre los tres clones utilizados en el experimento, respecto del porcentaje de enraizamiento promedio observado.

Todas las estacas utilizadas en el experimento correspondieron a cortes de primer orden (extremo apical de la planta madre), lo que pone en igualdad de condiciones a las estacas respecto de la posición de la planta madre que se obtuvieron. En algunas especies el mejor enraizamiento de la sección extrema (apical) puede ser explicado por la posibilidad de que contengan mayores concentraciones de sustancias endógenas promotoras del enraizamiento originadas en la yema terminal. También en las estacas terminales existe menos diferenciación, habiendo más células que pueden volverse meristemáticas (Hartmann y Kester, 1983). Por lo tanto se puede decir que, de acuerdo a los resultados obtenidos, las estacas de primer orden extraídas de plantas madres jóvenes fueron un buen material de propagación.

En tanto, el bajo porcentaje de enraizamiento promedio presentado por las estacas de secoya extraídas de plantas madres originadas de semilla comercial, puede deberse principalmente a la enorme heterogeneidad de calidades de plantas madres que se pueden originar de este tipo de semilla no seleccionada y destinada principalmente para satisfacer la demanda de semilla por parte de las empresas forestales.

El efecto de la hormona resultó ser significativamente importante, según lo determinado por el ANDEVA efectuado. Luego, no fue necesario realizar una prueba de comparación de medias posterior, para detectar donde se producía la diferencia, ya que este factor posee sólo dos niveles (con y sin H) y la significancia la entregó directamente el

análisis de varianza. Por consiguiente la única diferencia que se produce entre el nivel con Hormona y el nivel sin Hormona, fue realmente significativa (Figura 8).



**FIGURA 8.** Efecto de la aplicación de ácido naftalenacético (ANA) en el enraizamiento de estacas de secoya.

Cabe mencionar, eso si, que la aplicación de hormona (ANA) produce un efecto significativo en el porcentaje de enraizamiento, en contraste con la no aplicación de ésta. El valor promedio del nivel “con H” fue de 53,17 %, él cual se diferencia significativamente con el valor promedio del nivel “sin H”, que fue de 37,70 % (Figura 8). La medias de los dos niveles del factor hormonal se obtuvieron promediando todos los valores que abarca el nivel específico por sobre todos los niveles de los otros dos factores (plantas madres y sustratos).

Los resultados expuestos en el párrafo anterior y la contundencia del análisis estadístico evidencian claramente que la aplicación ANA mejoró significativamente el porcentaje de enraizamiento promedio de las estacas, por sobre todas las plantas madres y de los sustratos utilizados.

Los resultados obtenidos de acuerdo al efecto que provoca la aplicación del regulador de crecimiento en la promoción o iniciación de raíces en las estacas, son similares a los obtenidos por otros investigadores, pero teniendo en cuenta siempre que pueden obtenerse distintos y variados resultados dependiendo del regulador de crecimiento (hormona), de la combinación y de la concentración utilizada. Para uso general en el enraizamiento de estacas de tallo de la mayoría de las especies de plantas es muy

recomendado el ácido indolbutírico y en otras ocasiones el ácido naftalenacético. Para determinar cual regulador tiene mejores resultados y en que concentración óptima influye en el enraizamiento de una especie, es necesario realizar pruebas empíricas (Hartmann y Kester, 1988; Botti, 1999).

Festa y Gambi (1978) determinaron que el regulador de crecimiento aplicado (IBA) mejoró ostensiblemente el enraizamiento en estacas de *Sequoia sempervirens*, obteniendo porcentajes de estacas testigo enraizadas que iban entre 12 al 15 % y de un 66 a un 78 % de estacas enraizadas tratadas con IBA. Blythe (1985), obtuvo alrededor de un 2 % de estacas de secoya enraizadas tratadas previamente con ANA al 0,3 %. En el mismo experimento al tratar las estacas con una mezcla de IBA y ANA en concentraciones de 6.000 ppm el enraizamiento mejoró notablemente a un 46,8 %. Este porcentaje subió aún más al tratar las estacas de secoya solamente con IBA en 16.000 ppm (1,6 %).

En esta memoria sólo se utilizó un regulador de crecimiento con una concentración fija. Es probable que se puedan obtener resultados más satisfactorios si existe la posibilidad de probar con distintos reguladores de crecimiento, combinados e individualmente y con distintas concentraciones. Cabe destacar que en esta memoria también se probó el material de propagación y se determinó que el porcentaje de enraizamiento varió de acuerdo a la distinta procedencia de las estacas (el material de propagación fueron distintos cultivares).

Por otro lado Blazková *et al.* (1997), propagaron clones de secoya, tanto jóvenes como maduros, aunque en condiciones muy distintas a las ocupadas en esta memoria, ya que su experimento consistió en estudiar el enraizamiento que se produce usando la técnica de cultivo de tejidos. Los clones jóvenes enraizaron un 61 %, en tanto que los clones adultos enraizaron un 30 %, los dos tratados con IBA. Se observó que cuando no se trató no había enraizamiento, por lo que se concluyó que el IBA era un prerequisite para la formación de raíces.

En tanto, Power *et al.* (1988), propagaron vegetativamente secoya, aplicando IBA en concentración de 4.000 ppm a las estacas extraídas de plantas madres clonadas, obteniendo altos porcentajes de enraizamiento, llegando a rangos entre 80 y 100 %.

Durante el monitoreo mensual del ensayo se pudo determinar el tiempo que se demoraron las estacas en emitir las primeras raíces. Esto se pudo realizar gracias a las

estacas que fueron insertadas en las macetas transparentes. Las primeras raíces fueron detectadas en el mes de septiembre, a cuatro meses de haber sido implantadas. A medida que avanzó el tiempo se fueron detectando más estacas con presencia de raíces.

Como se mencionó al comenzar este análisis, el ANDEVA no detectó diferencias significativas para ningún tipo de interacción. Sin embargo, se detectaron buenos y promisorios resultados para el porcentaje de enraizamiento promedio de las estacas sometidas a las combinaciones de tratamientos (Cuadro 5).

**CUADRO 5.** Resultados promedios para el porcentaje de enraizamiento originados de la combinación de los tres factores (plantas madres, sustratos y hormona).

Variable observada:		PLANTAS MADRES													
		S. Plus A		S. Plus B		S. Plus C		S. Comercial		RB 54-22(5-13)		RB 54-22(5-19)		RB 2-23(6-15)	
SUSTRATOS		A	M	A	M	A	M	A	M	A	M	A	M	A	M
HORMONA	con H	69,44	58,33	55,56	81,94	58,33	80,56	52,78	51,39	48,61	37,50	52,78	50,00	34,72	12,50
	sin H	27,78	47,22	48,61	62,50	62,50	61,11	26,39	30,56	40,28	31,94	27,78	26,39	15,28	19,44

Nota: A: arena, M: mezcla

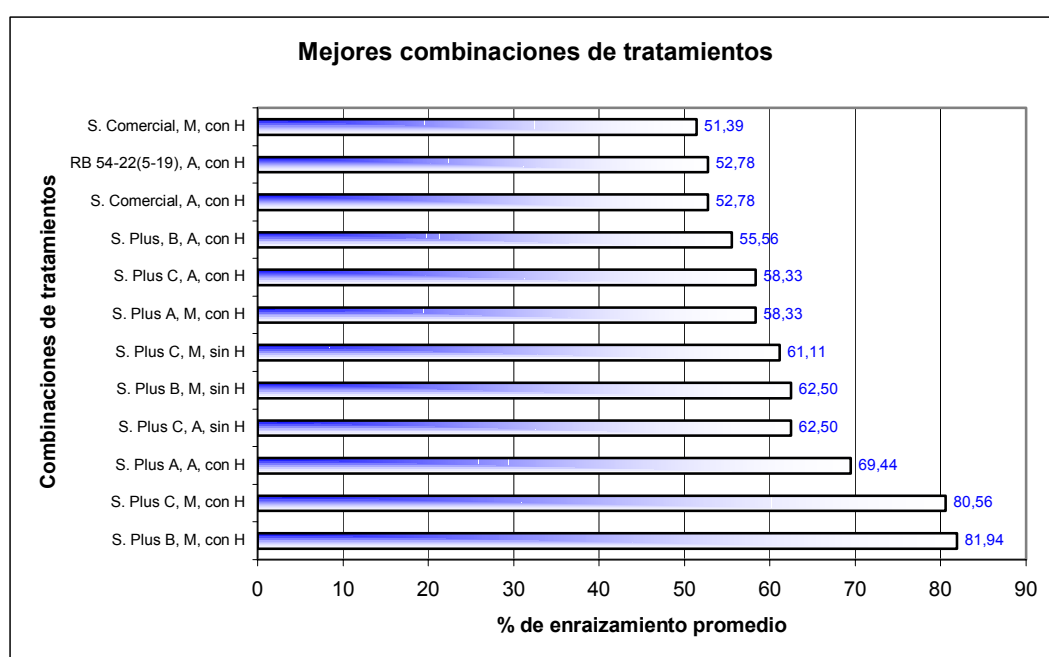
Cuando no existe ningún efecto de interacción significativa se dice que los efectos de los distintos factores son aditivos (Ostle, 1968). Esto quiere decir que en este caso los efectos provocados por las plantas madres, los sustratos y la hormona, se adicionaron para obtener resultados derivados de la combinación de niveles de los tres factores (tratamientos) que compusieron el experimento.

**Es importante recordar que en el ensayo se utilizó un invernadero convencional, sin contar con sistema de nebulizado, ni tampoco calentamiento basal (camas calientes). Se sabe que el calentamiento basal acelera la formación de raíces, además y en combinación con otros factores promovería la formación de raíces en especies con problemas de enraizamiento. La temperatura del sustrato tiene directa incidencia en los resultados obtenidos y, controlándola, se podrían obtener mejores resultados en el enraizamiento de estacas de secoya.**

El uso de sistema de neblina hace posible enraizar estacas de especies consideradas como muy difíciles o imposibles de enraizar (Hartmann y Kester, 1983). La nebulización es muy útil si va acompañada, además, de otros tratamientos como el calentamiento basal y la aplicación de sustancias rizógenas. Ésta controla también, la intensidad de la transpiración de las estacas y la temperatura interna (Cabello y Alvear, 1992). Todas estas variables pueden influir seriamente en el enraizamiento de las estacas,

por lo que es necesario tenerlas en cuenta si es que se cuenta con los recursos para implementarlas.

Como se observa en la Figura 9, las estacas extraídas de plantas madres provenientes de semilla plus (A, B y C), son las que presentaron los porcentajes promedios más altos de enraizamiento. Estos resultados derivados de la combinación de las plantas madres, los sustratos y la hormona, no presentaron un efecto de interacción significativa. Sin embargo, cada uno de ellos e independientemente contribuyó a la obtención de los presentes resultados.



**FIGURA 9.** Mejores resultados promedios para el porcentaje de enraizamiento originados por la combinación de los tres factores (plantas madres, sustratos y hormona).

Como se analizó, los efectos causados por las plantas madres y la hormona tuvieron una importancia significancia en el enraizamiento. De acuerdo a esto, es que el efecto que pudieron haber causado los sustratos es de poca importancia. No obstante, es necesario destacar que los mejores resultados (1° y 2° lugar) para el porcentaje de enraizamiento promedio se observaron en combinaciones en que estuvo presente el sustrato mezcla (tierra+arena+maicillo). Pero el haber observado que el sustrato mezcla es un nivel de factor presente en las observaciones de porcentajes de enraizamiento promedio, no es evidencia

suficiente para concluir que el sustrato mezcla fue comparativamente mejor que el sustrato arena.

- **Formación de callo**

Por último, es necesario incluir en este análisis lo concerniente a la formación de callo que presentaron las estacas. Esta variable no fue analizada estadísticamente, debido a que sólo se consideró como una variable auxiliar que aportó a la interpretación de los resultados de enraizamiento.

No todas las estacas que formaron callo, enraizaron. Hubo estacas que enraizaron directamente de la parte basal del tallo sin haber formado callo. Con esto queda de manifiesto que en el proceso de rizogénesis no necesariamente debe ocurrir una secuencia en la formación de callo y raíz. Sin embargo, un gran porcentaje (sobre el 70 %) de las estacas que enraizó lo hizo formando previamente callo (Figura 10).



**FIGURA 10.** Estacas enraizadas que formaron callo (las raíces de las estacas fueron cortadas para la medición de su volumen radicular). Su período de enraizamiento corresponde a 14 meses.

Al momento de medir el porcentaje de enraizamiento en cada unidad experimental, también se llevó simultáneamente otras dos observaciones. Éstas correspondieron al porcentaje de estacas que formaron callo del total que enraizó, por un lado, y al porcentaje de estacas que solo formó callo (sin enraizar). Tomando estas dos mediciones, se pudo tener una apreciación tangible de qué porcentaje de las estacas de cada unidad experimental formó callo (Apéndices 3a, 3b y 3c).

En la mayoría de los casos la formación de callo y raíces adventicias son sucesos independientes, aunque ocurran simultáneamente; éstos dependen de condiciones ambientales e internas semejantes (Hartmann y Kester, 1988; Cabello, 2000). La formación de callo no es esencial para el enraizamiento. Sin embargo, en algunas especies las raíces adventicias son originadas a partir del callo mismo, como es el caso de Pino radiata. En estos casos la formación de callo es precursora de la iniciación de raíces adventicias (Kains y M<sup>c</sup>Questen, 1938; Cameron, 1968; Summers, 1986; Cabello, 2000).

Makino *et al.* (1985) siguió el desarrollo y diferenciación del tejido calloso, como también del xilema y floema en un ensayo de enraizamiento de secoya. Después de finalizado el estudio concluyó que una alta tasa de crecimiento del callo (tejido calloso), estuvo correlacionado con una pérdida de contacto intercelular y una carencia de formación de tejido dermal.

En el Cuadro 6 se presentan los porcentajes de formación de callo totales promedios para cada unidad experimental (Apéndice 3c). En tanto los porcentajes de estacas que formaron solamente callo y el porcentaje de callo formado del total de estacas enraizadas se pueden encontrar en los Apéndices 3a y 3b respectivamente, incluyendo además los respectivos promedios de combinación de tratamientos.

**CUADRO 6.** Porcentajes promedios por combinación de tratamientos de estacas que formaron callo (estos promedios totales de formación de callo incluyen tanto a estacas enraizadas, como no enraizadas).

Variable observada:	PLANTAS MADRES														
	S. Plus A		S. Plus B		S. Plus C		S. Comercial		RB 54-22(5-13)		RB 54-22(5-19)		RB 2-23(6-15)		
SUSTRATOS	A	M	A	M	A	M	A	M	A	M	A	M	A	M	
HORMONA	con H	61,11	50,00	58,33	54,17	34,72	65,28	62,50	43,06	77,78	50,00	70,83	26,39	45,83	18,06
	sin H	51,39	68,06	51,39	63,89	43,06	51,39	61,11	23,61	36,11	59,72	72,22	48,61	44,44	36,11

Nota: A: arena, M: mezcla



### 5.3.- VOLUMEN RADICULAR

Según el análisis de varianza aplicado a los datos de volumen radicular (Apéndice 4a), no se detectaron diferencias significativas entre las medias de las combinaciones de los tres factores ensayados. Esto quiere decir que el efecto producido por la interacción entre las plantas madres, sustratos y hormona sobre el volumen radicular promedio no fue significativo (Apéndice 4b).

No obstante, el ANDEVA encontró que tanto las plantas madres como la hormona (ambos por separados) producen un efecto significativo en el volumen radicular (Apéndice 4b). Esto indicó que tanto en las plantas madres, como en el factor hormonal, existen diferencias significativas entre las medias de sus respectivos niveles. Por consiguiente, dos de las tres hipótesis nulas de los efectos principales fueron rechazadas.

Debido al rechazo de dos de las siete hipótesis nulas, mencionado anteriormente y para saber donde se encontraban las diferencias significativas, se aplicó la prueba de Tukey, para la comparación de todos los pares de medias de niveles de los dos factores que mostraron diferencias significativas (plantas madres y hormona).

De acuerdo a las plantas madres, el nivel que tuvo el efecto medio más alto para el volumen radicular (promedio por unidad experimental) fueron las estacas extraídas de plantas madres originadas de semilla plus C, con un promedio para el nivel de 0,340 cc, el cual difiere significativamente de otros tres niveles (Cuadro 7).

**CUADRO 7.** Efecto promedio causado por las plantas madres en el volumen radicular.

Ranking del nivel	Niveles de las plantas madres	Volumen radicular promedio nivel (cc)	Dif. Signif. Tukey
1°	Semilla Plus C	0,340	a
2°	Semilla Plus B	0,257	ab
3°	Semilla Plus A	0,236	ab
4°	Semilla Comercial	0,197	abc
5°	RB 54-22(5-19)	0,123	bc
6°	RB 54-22(5-13)	0,088	c
7°	RB 2-23(6-15)	0,059	c

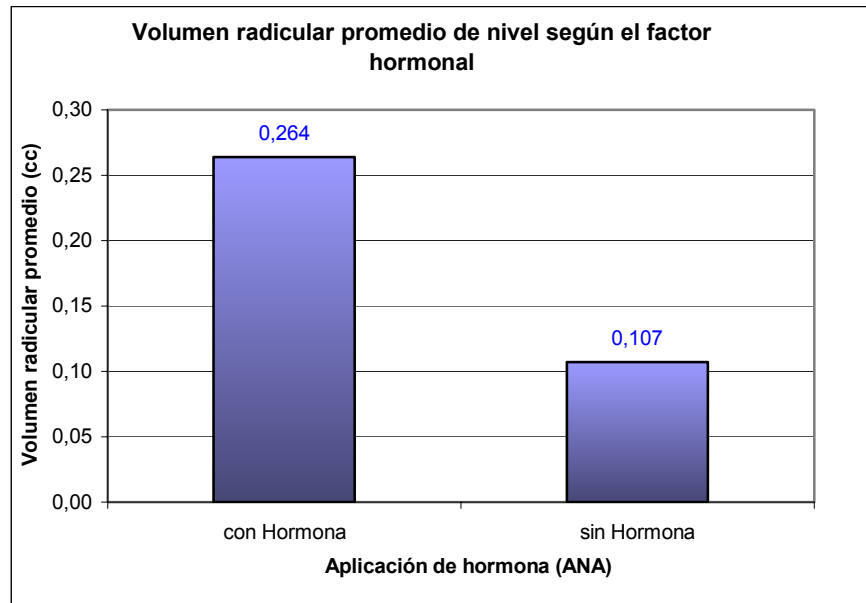
Nota: Los valores promedios con letras minúsculas iguales no presentaron diferencias significativas entre si.

A continuación le siguió el nivel correspondiente a las estacas obtenidas de plantas madres provenientes u originadas de semilla plus B, el cual también presentó diferencias significativas, pero sólo con otros dos niveles (dos de los mismos que el nivel semilla plus C), con un promedio para el nivel de 0,257 cc. Luego siguió el nivel semilla plus A, el cual presentó diferencias significativas con otros dos niveles del respectivo factor (las mismas que presentó el nivel semilla plus B), con un promedio de 0,236 cc.

Cabe destacar que entre las estacas extraídas de plantas madres provenientes de semilla plus (A, B y C), no se encontraron diferencias significativas (Cuadro 7), con lo puede decirse que las estacas de plantas madres provenientes de semilla plus C, plus B, plus A, son relativamente similares respecto al volumen radicular promedio que formaron. Además, son las que presentaron los mejores y más altos valores, que se diferencian significativamente de los otros niveles restantes, a excepción del nivel semilla comercial, con el cual no presentaron una diferencia significativa.

Siendo esto así, las estacas de semilla comercial podrían considerarse similar a las estacas de semilla plus, respecto del volumen radicular promedio. La diferencia está, en que las estacas de semilla comercial no presentaron diferencias con ningún otro nivel. Esto evidencia que las raíces formadas de las estacas originadas de plantas madres clonadas formaron en promedio un bajo volumen radicular, lo que puede deberse directamente al bajo porcentaje de enraizamiento que presentaron. Para un mayor detalle, los resultados de la prueba de Tukey para las medias de nivel de las plantas madres se encuentran en el Apéndice 4c.

Como se mencionó, el efecto de la hormona fue estadísticamente significativo, según el ANDEVA efectuado al volumen radicular. La aplicación de ANA produjo un efecto significativo en el volumen radicular, en contraste con la no aplicación de ésta. El valor promedio del nivel "con H" fue de 0,264 cc, el cual se diferencia significativamente con el valor promedio del nivel "sin H", que fue de 0,107 cc (Figura 11). La medias de los dos niveles del factor hormonal se obtuvieron promediando todos los valores que abarca el nivel específico por sobre todos los niveles de los otros dos factores (plantas madres y sustratos).



**FIGURA 11.** Efecto promedio causado por la aplicación de ácido naftalenacético en el volumen radicular. Se aprecia claramente la diferencia que existe entre aplicar o no hormona (ANA).

De acuerdo al análisis estadístico, se puede decir que se produjo un aumento significativo del volumen radicular promedio al aplicar ANA. Esto implicó que la capacidad de enraizamiento de las estacas se viera beneficiada y mejorada al aplicar hormona, debido a que el volumen radicular se considera como uno de los parámetros que indican la calidad del enraizamiento y también un factor crítico al evaluar el desempeño de las plantas en terreno (Duryea, 1984).

Lo anterior quiere decir que el volumen radicular promedio siempre aumentó al aplicar hormona para todas las plantas madres ensayadas (7 en total), tanto en sustrato arena, como en mezcla. Este aumento señalado pudo deberse en gran parte, a que el efecto del factor hormonal también fue significativo en el ANDEVA del porcentaje de enraizamiento y que a la vez se vio mejorado por la aplicación de hormona. Es lógico pensar que un mayor porcentaje de estacas enraizadas (por efecto de la hormona) tuvieron un volumen radicular promedio mayor, en comparación con el volumen radicular promedio obtenido en las estacas que enraizaron en un menor porcentaje.

Como se estableció, el ANDEVA no detectó diferencias significativas para ningún tipo de interacción (Apéndice 4b). Sin embargo, no está demás señalar que las combinaciones

de tratamientos específicas (de los tres factores) dieron valores promedios más altos que las medias de niveles de los factores significantes por separado (plantas madres y hormona).

Cuando no existe ningún efecto de interacción significativa se dice que los efectos de los distintos factores son aditivos o bien que el modelo es aditivo (Ostle, 1968). Esto quiere decir que los efectos provocados, tanto por las plantas madres, como por el tipo de sustrato y de la hormona, se adicionaron para obtener resultados derivados de la combinación (adición conjunta) de niveles de los tres factores (tratamientos) que compusieron el experimento factorial.

En el Cuadro 8 se exponen los resultados promedios para la combinación de niveles de los respectivos factores que presentaron los más altos volúmenes radiculares. Formando parte de estas combinaciones de tratamientos se encontraron en los primeros lugares las estacas de secoya extraídas de plantas madres originadas de semilla plus (A, B y C). En contraste con éstas se encuentra el material clonal propagado (RB 54-22(5-19)), que figura con apenas una posición dentro del ranking de las mejores combinaciones (Cuadro 9).

**CUADRO 8.** Medias de la combinación de tratamientos para el volumen radicular.

Variable observada:		PLANTAS MADRES													
		S. Plus A		S. Plus B		S. Plus C		S. Comercial		RB 54-22(5-13)		RB 54-22(5-19)		RB 2-23(6-15)	
SUSTRATOS		A	M	A	M	A	M	A	M	A	M	A	M	A	M
HORMONA	con H	0,368	0,326	0,201	0,444	0,389	0,590	0,285	0,347	0,136	0,081	0,153	0,215	0,124	0,038
	sin H	0,056	0,194	0,201	0,181	0,172	0,208	0,072	0,082	0,071	0,064	0,061	0,042	0,032	

Nota: A: arena, M: mezcla

**CUADRO 9.** Resultados promedios para el volumen radicular originados por la combinación de los tres factores (plantas madres, sustratos y hormona). Se muestran las mejores 10 combinaciones de tratamientos.

Ranking Trat.	Combinación de tratamientos (factores)			Volumen radicular promedio (cc)
	Plantas madres	Sustratos	Hormona (ANA)	
1°	Semilla Plus C	Mezcla	con H	0,590
2°	Semilla Plus B	Mezcla	con H	0,444
3°	Semilla Plus C	Arena	con H	0,389
4°	Semilla Plus A	Arena	con H	0,368
5°	Semilla Comercial	Mezcla	con H	0,347
6°	Semilla Plus A	Mezcla	con H	0,326
7°	Semilla Comercial	Arena	con H	0,285
8°	RB 54-22(5-19)	Mezcla	con H	0,215
9°	Semilla Plus C	Mezcla	sin H	0,208
10°	Semilla Plus B	Arena	con H	0,201

Siguiendo con el mismo análisis, se puede notar clara y marcadamente la influencia de la hormona, ya que casi en todas las combinaciones expuestas en el Cuadro 9 se encuentra presente la aplicación de hormona (ANA). Respecto del sustrato, sólo se puede decir que el tipo mezcla se encuentra presente en las dos mejores combinaciones de tratamiento y debido a que este factor no presentó efectos de importancia significativa en el volumen radicular, es que no se aprecia en el cuadro la marcada presencia de uno de los dos niveles, como es el caso de niveles de los otros dos factores.

#### 5.4.- PESO SECO RADICULAR

Según los resultados obtenidos para el peso seco radicular (Apéndice 5a) y su respectivo ANDEVA, se pudo concluir que el efecto causado por la interacción entre las plantas madres, los sustratos y la hormona no fue significativo. Sin embargo, el ANDEVA indicó que la interacción entre las plantas madres y la hormona produjo un efecto significativo sobre la variable dependiente peso seco radicular (Apéndice 5b). De lo anterior se deduce que las diferencias de pesos secos radiculares promedios que se dan entre las distintas plantas madres, no fueron las mismas para los dos niveles del factor hormonal.

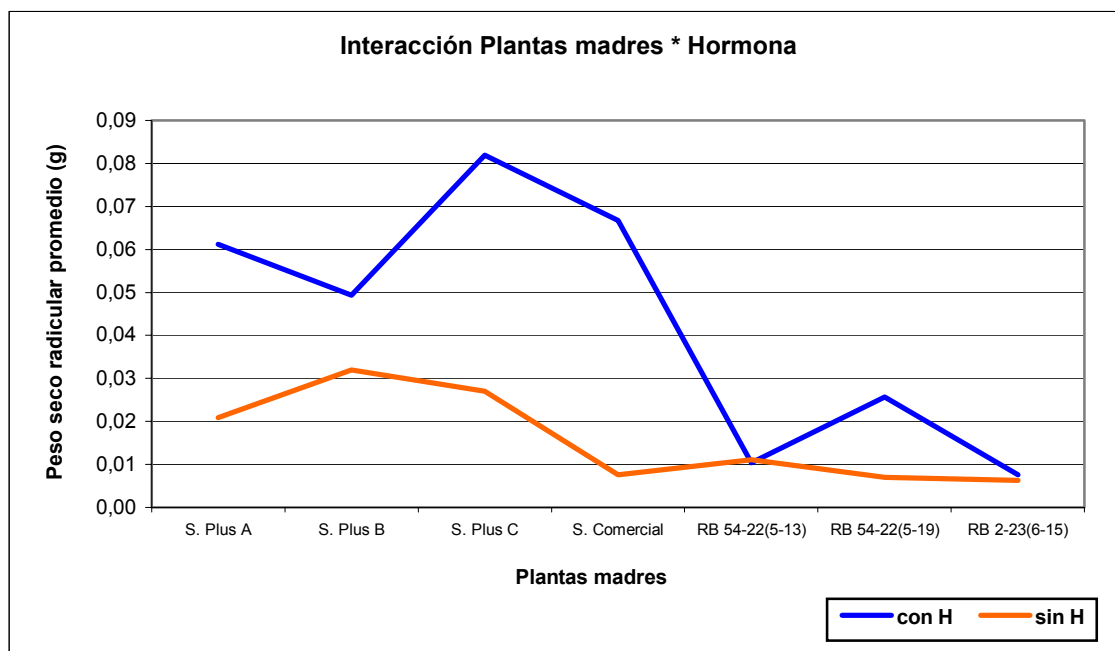
El análisis se basó principalmente en la interacción doble anteriormente mencionada, aunque también se haya encontrado significativos los efectos individuales ocasionados, tanto por las plantas madres propagadas, como por la hormona utilizada (Cuadro 10). Esto último se debió principalmente a que no es de interés analizar los efectos causados individualmente por los factores, pero si fue de interés el análisis de cómo estos dos factores interactuaron.

**CUADRO 10.** Peso seco radicular promedio para la combinación de tratamientos específica de la interacción significativa (plantas madres \* hormona).

Peso s. radicular (g) Interacción A * C		PLANTAS MADRES						
		S. Plus A	S. Plus B	S. Plus C	S. Comercial	RB 54-22(5-13)	RB 54-22(5-19)	RB 2-23(6-15)
HORMONA	con H	0,061	0,049	0,082	0,067	0,010	0,026	0,008
	sin H	0,021	0,032	0,027	0,008	0,011	0,007	0,006

Nota: A: arena, M: mezcla

Si se analiza la Figura 12, se puede observar claramente cómo se manifestó la interacción entre las plantas madres de secoya y la hormona. La ausencia de paralelismo entre las curvas y su intersección indican una posible interacción (Ostle, 1968), interacción que el ANDEVA arrojó significativa



**FIGURA 12.** Representación gráfica de la interacción significativa, detectada en el ANDEVA. El gráfico se basa en los valores presentados en el Cuadro 10.

Debido a que la interacción entre las plantas madres y la hormona resultó significativa, se llevó a cabo la prueba de comparación de medias de Tukey para detectar qué medias de combinación de tratamientos de la interacción se diferenciaron significativamente de otras. De las 91 comparaciones de medias posibles realizadas mediante la prueba de Tukey (0,05), 70 dieron diferencias significativas. En las 21 comparaciones restantes no se observaron diferencias significativas (Apéndice 5c).

Cabe mencionar que todas las medias de combinación de tratamientos presentaron más de alguna diferencia significativa con las otras. Las cuatro mejores medias de la interacción entre las plantas madres y la hormona presentaron diferencias con casi todo el espectro de medias (14 medias). Semilla plus C, con hormona resultó ser la mejor combinación de la interacción, con un valor de 0,082 g, diferenciándose significativamente del resto de las medias. A continuación y en segundo lugar prosiguió semilla comercial, con

H, con un promedio de 0,067 g, que no se diferenció significativamente sólo de semilla plus A, con H, media que se ubicó en tercer lugar con un valor promedio de 0,061 g. Por último, cabe decir que las diferencias no significativas se encontraron en las comparaciones entre las medias que poseían los valores más bajos del peso seco radicular de la interacción (Cuadro 11).

**CUADRO 11.** Efecto promedio causado por la interacción entre las plantas madres y la hormona en el peso seco radicular (g) en estacas de secoya.

Ranking Trat.	Interacción Plantas madres * Hormona		Peso seco radic. promedio (g)	Dif. Signif. Tukey
	Plantas madres	Hormona (ANA)		
1°	Semilla Plus C	con H	0,082	a
2°	Semilla Comercial	con H	0,067	b
3°	Semilla Plus A	con H	0,061	b
4°	Semilla Plus B	con H	0,049	c
5°	Semilla Plus B	sin H	0,032	d
6°	Semilla Plus C	sin H	0,027	de
7°	RB 54-22(5-19)	con H	0,026	de
8°	Semilla Plus A	sin H	0,021	e
9°	RB 54-22(5-13)	sin H	0,011	f
10°	RB 54-22(5-13)	con H	0,010	f
11°	RB 2-23(6-15)	con H	0,008	f
12°	Semilla Comercial	sin H	0,008	f
13°	RB 54-22(5-19)	sin H	0,007	f
14°	RB 2-23(6-15)	sin H	0,006	f

Nota: los valores promedios con letras minúsculas iguales no presentaron diferencias significativas entre si.

De acuerdo con los análisis realizados puede decirse que, cuando las plantas madres actúan en combinación con la hormona, provocan un efecto de significancia en el peso seco o biomasa radicular de las estacas de secoya. Según Duryea (1984) el peso seco de raíces (en conjuntos con otros factores) ha sido recientemente reconocido como uno de los más importantes factores críticos al evaluar el desempeño de las plantas en terreno.

Cabe destacar que, en los cuatro valores promedios más altos del ranking del Cuadro 11 se detectó que estuvo siempre presente el nivel “con H” del factor hormonal. De acuerdo a esto puede decirse que la aplicación de ANA mejoró y alcanzó los más altos valores de peso seco radicular en estacas de secoya, siempre que se combinó con los siguientes niveles del primer factor: estacas extraídas de plantas madres originadas de semilla plus A, B, C y semilla comercial. Cabe destacar eso si que las estacas tratadas con

hormona mejoraron significativamente su peso seco radicular promedio, en comparación con las estacas no tratadas (Apéndice 5b).

También las plantas madres provenientes de cultivo de tejido presentaron los más bajos valores promedios de peso seco radicular (de la interacción). Lo anterior deja en evidencia que las plantas madres clonadas (RB54-22(5-13), RB54-22(5-19) y RB2-23(6-15)) presentaron evidentes limitaciones al propagarlas vegetativamente a través de estacas, según el análisis del peso seco radicular (Cuadro 10).

El peso seco radicular es el parámetro más comúnmente utilizado para estudios de crecimientos como respuesta al medio ambiente. Esta variable permite caracterizar el volumen total de raíces en el suelo (Böhm, 1979). Esto se vio reflejado en que los resultados obtenidos de peso seco son explicados en un gran porcentaje ( $R = 0,95$ ) por las variables predictoras: porcentaje de enraizamiento y volumen radicular. Esto se debe a que en los análisis anteriores de estas dos variables, el ANDEVA detectó que tanto las plantas madres como el factor hormonal tuvieron un efecto significativo en la respuesta. En el análisis del peso seco radicular y debido a que se encuentra altamente correlacionado con el porcentaje de enraizamiento y volumen radicular, es que se encontró que el efecto de la interacción entre las plantas madres y hormona fue significativo.

Además de haber detectado la interacción, el ANDEVA detectó también que los efectos ejercidos individualmente por las plantas madres y la hormona resultaron significativos (Apéndice 5b). Esto significó también el rechazo de dos de las tres hipótesis de efectos principales. Sin embargo y como se señaló, el análisis de estos efectos por separados no fue de interés, debido a que lo que primó en este caso, fue analizar de manera más profunda y detallada, la interacción de carácter significativa.

De todas maneras, en el Apéndice 5d se encuentra la prueba de comparación de medias de Tukey para el efecto que ejerce individualmente sobre el peso seco radicular el factor plantas madres. Para el caso de la hormona no fue necesario realizar esta prueba, debido a que el factor posee sólo dos niveles y su única diferencia significativa de medias la entregó directamente el análisis de varianza, mediante el estadístico F.

Es imprescindible sin embargo, mencionar y referirse a los resultados obtenidos para las mejores combinaciones de tratamientos de acuerdo a los tres factores, aunque esta



interacción no haya presentado una importancia significativa. Las medias de combinación de tratamientos de los tres factores, para la variable peso seco radicular, se señalan en el Cuadro 12, así como también, en el Cuadro 13, se muestra el ranking para las medias de combinación de tratamientos, de manera de poder establecer, tanto su efectividad, como su importancia.

**CUADRO 12.** Resultados promedios para el peso seco radicular (g), originados por la combinación de los tres factores (plantas madres, sustratos y hormona).

Variable observada:		PLANTAS MADRES													
Peso seco radicular (g)		S. Plus A		S. Plus B		S. Plus C		S. Comercial		RB 54-22(5-13)		RB 54-22(5-19)		RB 2-23(6-15)	
SUSTRATOS		A	M	A	M	A	M	A	M	A	M	A	M	A	M
HORMONA	con H	0,074	0,049	0,028	0,071	0,063	0,101	0,057	0,076	0,015	0,006	0,022	0,029	0,008	0,007
	sin H	0,008	0,033	0,025	0,039	0,021	0,033	0,006	0,010	0,010	0,013	0,010	0,004	0,008	0,004

Nota: A: arena, M: mezcla

Como se puede apreciar en el Cuadro 13, el efecto producido por la combinación de los tres factores (plantas madres, sustratos y hormona) fue claro, pero no significativo. Sin embargo, las estacas extraídas de plantas madres originadas de semilla plus (A, B y C) y semilla comercial en combinación con la aplicación de hormona e insertas en sustrato mezcla son las que presentaron los valores promedios más altos para el peso seco radicular.

**CUADRO 13.** Resultados promedios para el peso seco radicular (g) originados por la combinación de los tres factores (plantas madres, sustratos y hormona). Se detallan las mejores 10 combinaciones de tratamientos.

Ranking Trat.	Combinación de tratamientos (factores)			Peso seco radic. promedio (g)
	Plantas madres	Sustratos	Hormona (ANA)	
1°	Semilla Plus C	Mezcla	con H	0,101
2°	Semilla Comercial	Mezcla	con H	0,076
3°	Semilla Plus A	Arena	con H	0,074
4°	Semilla Plus B	Mezcla	con H	0,071
5°	Semilla Plus C	Arena	con H	0,063
6°	Semilla Comercial	Arena	con H	0,057
7°	Semilla Plus A	Mezcla	con H	0,049
8°	Semilla Plus B	Mezcla	sin H	0,039
9°	Semilla Plus C	Mezcla	sin H	0,033
10°	Semilla Plus A	Mezcla	sin H	0,033

## 5.5.- MORTALIDAD Y PRESENCIA DE BROTES

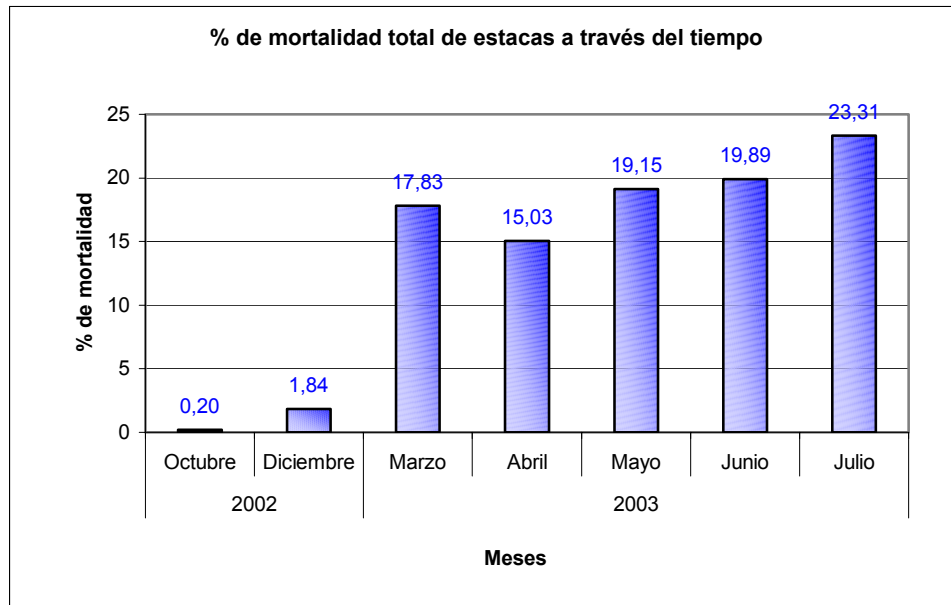
Observando los datos de mortalidad mensual expuestos en el Cuadro 14 y representados gráficamente en la Figura 13, se puede decir que hubo un marcado aumento de la mortalidad en los meses estivales (enero y febrero del 2003) y que fue registrada en el mes de marzo. Este aumento se debió a las altas temperaturas que se registraron en los meses de verano (Apéndice 6a). Muchas de las estacas que habían formado nuevos brotes a finales de primavera (2002) se vieron afectadas mortalmente por las altas temperaturas que dañaron principalmente a los brotes y tejidos más nuevos de las estacas.

**CUADRO 14.** Monitoreo de la mortalidad y necrosis Los porcentajes fueron acumulativos a cada mes de registro (el % de mortalidad correspondió a estacas totalmente necróticas).

Meses	% de plantas sanas	% estacas parcialmente necróticas	% de mortalidad
<b>2002</b>			
<b>Octubre</b>	76,49	23,31	0,20
<b>Diciembre</b>	79,17	19,00	1,84
<b>2003</b>			
<b>Marzo</b>	53,42	28,75	17,83
<b>Abril</b>	50,30	34,67	15,03
<b>Mayo</b>	46,78	34,08	19,15
<b>Junio</b>	45,19	34,92	19,89
<b>Julio</b>	41,87	34,82	23,31

Nota: en enero y febrero no hubo monitoreo

La mortalidad registrada desde el mes de marzo en adelante se hace relativamente constante, a no ser por un leve aumento de la mortalidad registrado en los meses previos al levantamiento del ensayo (mayo a julio) y que se vió reflejado en la mortalidad final de las estacas. La causa de este leve aumento pudo tener relación directa con la aplicación del fertilizante foliar que hasta ese momento se seguía aplicando dos veces al mes. Cuando esto fue detectado se suspendió inmediatamente. Sin embargo, el fertilizante no hizo más que apurar la muerte de las estacas que no habían enraizado y que habían agotado sus reservas de carbohidratos para el posterior crecimiento de raíz, tallo y hojas. La mortalidad progresiva acumulada (%) detectada a través del tiempo se representa en la Figura 13.



**FIGURA 13.** Resultados del monitoreo mensual para la mortalidad acumulada según el avance de los meses.

Como se estableció, las elevadas temperaturas estivales y la aplicación del fertilizante en los meses posteriores son los causantes de la mortalidad final, registrada al levantar el ensayo. Sin embargo, no se debe olvidar que la mortalidad pudo haber sido consecuencia directa de los efectos ejercidos por los factores que compusieron el experimento; plantas madres, sustratos y hormona. Si se observa la Figura 13, se puede detectar que la mortalidad en el mes de abril fue menor a la del mes de marzo. Esto que puede parecer ilógico, se explica de manera que las estacas que se encontraban totalmente necróticas en marzo (aparentemente muertas) rebrotaron vigorosamente en abril (para efectos de la medición, las estacas con nuevos brotes todavía estaban vivas).

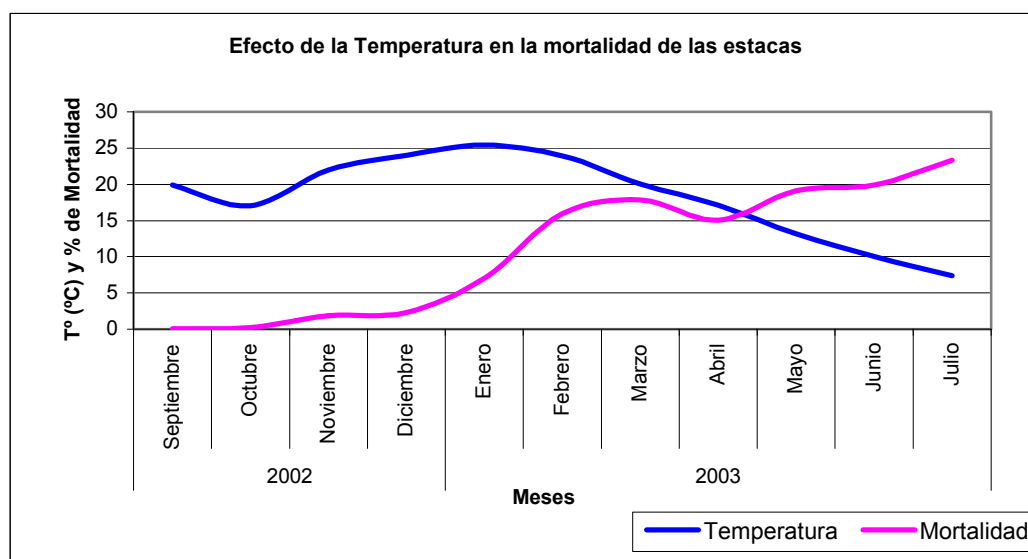
En el Cuadro 15 se puede apreciar como las estacas extraídas del clon RB 2-23(6-15) y de las plantas madres originadas de semilla comercial fueron las que presentaron el mayor porcentaje de mortalidad final. Por último que, el porcentaje de mortalidad final es una variable cuyos valores son inversamente proporcionales a los valores del porcentaje de sobrevivencia, con lo cual no fue necesario un análisis estadístico más acabado, ya que fue de mayor interés analizar estadísticamente los efectos producidos por los factores en la sobrevivencia de estacas de secoya (sección 5.1).

**CUADRO 15.** Porcentaje final de mortalidad promedio para las combinaciones de tratamientos.

Variable observada:		PLANTAS MADRES													
		S. Plus A		S. Plus B		S. Plus C		S. Comercial		RB 54-22(5-13)		RB 54-22(5-19)		RB 2-23(6-15)	
Sustratos		A	M	A	M	A	M	A	M	A	M	A	M	A	M
HORMONA	con H	23,61	31,94	25,00	16,67	31,94	18,06	38,89	50,00	12,50	33,33	25,00	36,11	54,17	86,11
	sin H	47,22	22,22	29,17	18,06	31,94	20,83	52,78	63,89	36,11	4,17	2,78	8,33	69,44	62,50

Nota: A: arena, M: mezcla

En la Figura 14, se puede apreciar cómo aumentó la tasa mortalidad a medida que aumentó la temperatura, sobre todo en los meses de verano. Los datos de temperatura y mortalidad monitoreados, permitieron analizar la relación mencionada inicialmente. Hay que mencionar que las altas temperaturas registradas en la temporada estival (enero y febrero del 2003) alcanzaron niveles históricos en la Región Metropolitana, llegando a temperaturas máximas (absolutas) que bordearon los 36 ° C.



**FIGURA 14.** Efecto de temperatura estival en la mortalidad de estacas (las temperaturas corresponden a promedios diarios mensuales medidas al interior del invernadero).

Las temperaturas registradas al interior del invernadero, dependieron directamente y en gran parte de la temperatura exterior ambiente. Debido a las altas temperaturas ambientes (exteriores) registradas en los meses de verano, la temperatura ambiente interior registró niveles muy similares e incluso en algún grado más elevadas que las temperaturas exteriores. Es por esto que en los meses de verano (2003) y para lograr bajar un poco las temperaturas fue necesario retirar el polietileno de la estructura superior del invernadero y

reemplazarlo por una malla Rashell que cubrió en su totalidad a las unidades experimentales (estacas), pero que permitía el paso de luz. Además y con el mismo propósito, debió intensificarse el riego por aspersion a las estacas (3 a 5 veces al día), controlando también la intensidad de transpiración de las estacas, evitando así una posible deshidratación.

**En casi todos los meses las temperaturas ambientales (exteriores) más altas se registraron al mediodía, bajando suavemente al atardecer. Lo anterior se dio marcadamente en los meses de verano (Apéndice 6a).**

La temperatura ambiente al interior del invernadero y también la temperatura del sustrato dependieron en gran parte las temperaturas ambientes exteriores registradas durante el período experimental (Apéndice 6a). Esto podría ser determinante al momento de correlacionar el aumento de las temperaturas en el período estival con el aumento de la mortalidad a través del tiempo.

Las temperaturas del sustrato presentaron el mismo patrón de distribución a lo largo del día que las temperaturas ambientales al interior del invernadero (Apéndice 6b). Las temperaturas de sustrato más bajas registradas se detectaron en las mañanas (8:00 hr.) y las temperaturas más altas se registraron al medio día. Así, nuevamente se confirma que las temperaturas internas dependieron directamente de las temperaturas externas ambientales. Sin embargo, hay que destacar que las temperaturas del sustrato medidas fueron más moderadas, alcanzando siempre valores por debajo de las temperaturas ambientes más altas y valores por sobre las temperaturas ambiente (interior y exterior) más bajas registradas.

- **Presencia de brotes**

De acuerdo a lo observado en el período experimental, las estacas presentaron brotes nuevos en la medida que transcurría el tiempo. Los primeros brotes de temporada fueron detectados a principios de septiembre del 2002. Los porcentajes de las estacas que presentaron nuevos brotes en los meses monitoreados se muestran en el Cuadro 16.

**CUADRO 16.** Porcentaje de estacas con brotes nuevos en los meses de monitoreo (los valores de octubre y diciembre son acumulativos, respecto de su mes antecesor).

Meses	% de brotes nuevos
<b>2002</b>	
Octubre	28,27
Diciembre	51,98
<b>2003</b>	
Marzo	50,32
Abril	61,01
Mayo	46,92
Junio	46,23
Julio	46,43

Los brotes nuevos siempre se originaron de las yemas axilares laterales del tallo y también de los extremos de las ramillas de las estacas. La emergencia de brotes en la zona apical de las estacas (que antes de implantarlas les fue cortada), ocurrió en un grado mucho menor. Se pudo observar también que, algunos brotes originados de las hojas, tomaron la dominancia en el crecimiento vertical.

Es importante destacar por último, que la emergencia de brotes nuevos fue observada casi en todo el período que duró el experimento, incluso en los meses de otoño e invierno (2003). Sólo en los primeros meses del ensayo (mayo a agosto, 2002) y debido al período necesario de adaptación no se presentaron nuevos brotes en las estacas.

## 6.- CONCLUSIONES

### PORCENTAJE DE SOBREVIVENCIA

- Se detectó que el efecto causado en el porcentaje de sobrevivencia por la interacción entre los sustratos y la hormona fue significativo, aunque el mayor porcentaje de sobrevivencia promedio fue 71,43 %, obtenido sin la aplicación de hormona (ANA al 0,4 %), utilizando mezcla (arena, tierra y maicillo) como sustrato.
- Sólo las plantas madres produjeron un efecto significativo en el porcentaje de sobrevivencia promedio. Las estacas de secoya extraídas de los clones RB54-22(5-19) y RB54-22(5-13) fueron las que presentaron los más altos porcentajes de sobrevivencia promedio, con un 68,31 y 64,81 %, respectivamente.
- Aunque el efecto de la interacción entre las plantas madres, los sustratos y la hormona no fue significativo, los resultados obtenidos con la combinación de los tres factores fueron muy buenos y promisorios. El mayor porcentaje de sobrevivencia promedio fue de 97,22 % y se obtuvo en las estacas extraídas del clon RB54-22(5-19), utilizando arena como sustrato y sin la aplicación de hormona. Las estacas de secoya extraídas de plantas madres originadas de semilla plus (A, B y C) en combinación con mezcla como sustrato y aplicación de hormona, también presentaron una buena y promisoriosa sobrevivencia.

### PORCENTAJE DE ENRAIZAMIENTO

- Los efectos producidos en el enraizamiento de estacas de *Sequoia sempervirens* por la interacción entre las plantas madres, los sustratos y la hormona (ANA) no fueron significativos. Sin embargo, los efectos producidos tanto por las plantas madres propagadas, como por la hormona, individualmente, si fueron significativos. No ocurrió lo mismo con el efecto causado por los sustratos.
- Con respecto a la significancia de las plantas madres, las estacas extraídas de plantas madres originadas a partir de semilla plus A, B y C fueron las que presentaron los más altos porcentajes de enraizamiento, con un 63,65 % para

estacas de semilla plus C, un 62,15 % para estacas plus B y un 50,69 % para estacas extraídas de plantas madres originadas de semilla plus A.

- Quedó en evidencia que la aplicación de hormona (ANA, 4.000 ppm) mejoró significativamente el porcentaje de enraizamiento promedio de un 37,70 % en estacas no tratadas con hormona a un 53,17 % en las tratadas.
- Los efectos provocados por la combinación de tratamientos entre las plantas madres, sustratos y hormona, originaron los más altos porcentajes de enraizamiento promedio, considerados como buenos y promisorios. El valor más alto para el porcentaje de enraizamiento promedio fue de 81,94 % y se obtuvo utilizando estacas extraídas de plantas madres originadas de semilla plus B, ocupando mezcla como sustrato y bajo la presencia de hormona (ácido naftalenacético),

#### **VOLUMEN RADICULAR**

- Los efectos producidos en el volumen radicular de estacas de *Sequoia sempervirens* por la interacción entre las plantas madres, los sustratos y la hormona (ANA) no fueron significativos. Sin embargo y al igual que en el porcentaje de enraizamiento, los efectos individuales producidos, tanto por las plantas madres, como por la hormona fueron significativos. No ocurrió así con el efecto de los sustratos.
- Según la significancia de las plantas madres, las estacas extraídas de plantas madres originadas a partir de semilla plus A, B y C fueron las que presentaron los más altos volúmenes radiculares promedios.
- La aplicación de hormona (ANA) mejoró significativamente los volúmenes radiculares promedio de 0,107 cc en estacas no tratadas con hormona a 0,264 cc en las que si se aplicó ácido naftalenacético. Es decir, se produce un 146 % de mejora.



- La combinación de tratamientos entre las plantas madres, los sustratos y la hormona originó los más altos volúmenes radiculares promedio. El volumen radicular promedio más alto fue de 0,590 cc y se obtuvo utilizando estacas extraídas de plantas madres originadas de semilla plus C, ocupando mezcla como sustrato (arena, tierra y maicillo) y bajo la presencia de hormona (ANA).

## **PESO SECO RADICULAR**

- Se determinó que la interacción entre las plantas madres y la hormona ejerció un efecto significativo sobre el peso seco radicular de estacas de *Sequoia sempervirens*, así como también, ambos factores por separado. El sustrato no tuvo una influencia significativa en el peso seco radicular. El peso seco radicular promedio más alto de la interacción fue de 0,082 g y se obtuvo utilizando estacas extraídas de plantas madres originadas de semilla plus C, bajo la aplicación de hormona (ANA al 0,4 %).
- Aunque la interacción entre las plantas madres, los sustratos y la hormona no haya presentado un efecto de significativo en el peso seco radicular, ésta fue la que originó los más altos valores promedios para el peso seco de raíz. El valor promedio más alto para variable fue de 0,101 g y se obtuvo en estacas extraídas de plantas madres originadas de semilla plus C, con mezcla como sustrato y la aplicación de hormona (ANA).

## **VARIABLES DE MEDICIÓN PARCIAL**

- La mortalidad monitoreada mensualmente se vió altamente incrementada en los meses de verano (2003), debido a las altas temperaturas registradas en esta temporada, registrándose un incremento de mortalidad del 15,99 % desde diciembre del 2002 a marzo del 2003 (alcanzando en julio un 23,31%), es decir, con temperaturas promedios superiores a 25 °C, la mortalidad en las estacas comenzó a hacerse evidente.

- Desde septiembre (2002), fecha en que se reanudó el crecimiento, hasta el finalizar el experimento, se detectó una formación constante de nuevos tejidos en las estacas. Prueba de ello fue el porcentaje de estacas que en cada mes presentaron nuevos brotes, originados tanto del tallo, como de las ramillas y hojas.

## RECOMENDACIONES GENERALES

- A modo de conclusión general y de acuerdo con los resultados observados se puede decir que la propagación vegetativa a través de estacas de la especie *Sequoia sempervirens* es posible, siempre y cuando los múltiples factores que estén influyendo en la propagación de la especie sean favorables.
- Según el trabajo realizado, para propagar vegetativamente *Sequoia sempervirens* a través de estacas se recomienda ocupar principalmente estacas extraídas de plantas madres originadas a partir de semilla plus A, B y C, ocupando como sustrato una mezcla de arena, tierra y maicillo, aplicando a la vez un regulador de crecimiento (ácido naftalenacético al 0,4 %).
- Sería muy interesante y se deja la inquietud planteada para otra investigación, evaluar el enraizamiento de estacas de *Sequoia sempervirens* bajo condiciones ambientales que le sean aún más favorables y que puedan a la vez controlarse. Por ejemplo experimentar con sistemas de camas calientes y nebulizado. Se podrían ensayar también, otros reguladores de crecimiento (hormonas) probados en distintas concentraciones.

## 7.- BIBLIOGRAFÍA

- ALBERT, F. 1908. Los siete árboles forestales más recomendables para el país. En: Algunas observaciones sobre las especies en la sección de aguas y bosques. Santiago, Chile. Ed. Cervantes. 52 p.
- ALDEN, H. 1997. Softwoods of North America. Madison, WI USDA, Forest Service. Forest Products Laboratory. Gen. Tech. Rep. FPL–GTR–102. 151 p.
- AWAD, G. 1993. Propagación vegetativa de seis especies vegetales nativas con posibilidades ornamentales. Tesis Licenciado en Agronomía. Universidad Austral de Chile. Facultad de Ciencias Agrarias. Valdivia, Chile. 66 p.
- BAILEY, L. y BAILEY, E. 1976. Hortus Third. Macmillan. New York. 340 p.
- BALL, E.; MORRIS, D. y RYDELIUS, J. 1978. Cloning of *Sequoia sempervirens* from mature trees through tissue culture. En: Proceedings, Table Ronde: Multiplication "In vitro" d'Espèces Ligneuses. Gembloux, Belgique; 6-8 June. pp 181-226.
- BARRETTE, B. 1966. Redwood sprouts on Jackson State Forest. California. Division of Forestry. State For. Note 29, 8 p.
- BECKING, R y BELLETTO, L. 1968. Vegetative propagation of coastal redwood: Rooting of redwood cuttings. Supplement to Final Report of NSF Grant. N° 4690. 23 p.
- BLAZKOVÁ, A.; SOTTA, B.; TRANVAN, H.; MALDINEY, R.; BONNET, M.; EINHORN, J.; KERHOAS, L. y MIGINIAC, E. 1997. Auxin metabolism and rooting in young and mature clones of *Sequoia sempervirens*. Physiologia Plantarum. 99: 73 – 80.
- BLYTHE, G. 1985. Cutting propagation of *Sequoia sempervirens* cultivars. Combined Proceedings International Plant Propagators Society. 34: 204 – 211.
- BOE, K. 1975. Natural seedling and sprouts after regeneration cuttings in old-growth redwood. USDA Forest Service. Pacific Southwest Forest and Range Experiment Station, Berkeley, CA. Research Paper PSW-111. 17 p.

- BÖHM, W. 1979. Methods of studying root system. Brühlsche Universitätsdruckerei, Lahngieben. Alemania. 188 p.
- BOTTI, C. 1999. Principios de la propagación y técnicas de propagación por estacas. En: Manejo tecnificado de invernaderos y propagación de plantas. Departamento de Producción Agrícola. Facultad de Ciencias Agronómicas. Universidad de Chile. Santiago, Chile. pp 72-82.
- BOULAY, M. 1979. Multiplication et clonage rapide du *Sequoia sempervirens* per la culture *in vitro*. In: Etudes et Recherches, Association Foret-Cellulose, Domaine de l'Etanson, Nangis. France. pp 49-55.
- BOX, G. y HUNTER, W. 1989. Estadística para investigadores. Introducción al diseño de experimentos, análisis de los datos y construcción de modelos. U.S.A. Ed. Reverté S.A.. 675 p.
- CABELLO, A. 1990. Enraizamiento de estacas de Alerce (*Fitzroya cupressoides* (Mol.) Johnston) y Mañío macho (*Podocarpus nubigena* Lindl.). Ciencias Forestales 6 (2): 135 -139.
- CABELLO, A. 2000. Propagación Asexual. Apuntes de Clases N° 2. Departamento de Silvicultura. Facultad de Ciencias Forestales. Universidad de Chile. 10 p.
- CABELLO, A. y ALVEAR, A. 1992. Enraizamiento de estacas de *Fitzroya cupressoides* y *Pilgerodendron uvifera* mediante la aplicación de ácido indolbutírico. Ciencias Forestales 8 (1-2): 47-53.
- CAMERON, R. 1968. The propagation of *Pinus radiata* by cuttings. Influences affecting the rooting of cuttings. New Zealand Journal of Forestry 13(1): 78- 89.
- CANAVOS, G. 1988. Probabilidad y estadística. Aplicaciones y métodos. México. Editorial McGraw-Hill. 647 p.
- CASTRO, I. A. 1939. Las dunas de Chanco. Tesis Ingeniero Agrónomo. Facultad de Agronomía. Universidad de Chile. 75 p.

- CHACÍN, F. 2000. Diseño y análisis de experimentos para generar superficies de respuesta. Maracay. Venezuela. Ed. de la Facultad de Agronomía. Universidad Central de Venezuela. 348 p.
- COATE, B. 1980. Selected California native Plants in color. Saratoga, California. Saratoga Horticultural Foundation. 260 p.
- COCHRAN, W. y COX, G. 1971. Diseños experimentales. México. Editorial Trillas. 661 p.
- COLE, D. 1983. Redwood sprout growth three decades after thinning. Journal of Forestry 81(3):148 -157.
- CONNOR, D. 1982. Cutting propagation of *Metasequoia glyptostroboides* Proc. Inter. Plant Prop. Soc. 32: 327-329.
- CUCULIZA, P. 1956. Propagación de plantas. Lima. Perú. Talleres gráficos F. L. Villanueva. 340 p.
- CUISANCE, P. 1988. La multiplicación de las plantas y el vivero. Madrid. España. Ed. Mundi-Prensa. 165 p.
- DEL PINO, G. y GOUET, R. 1978. Técnicas estadísticas para el diseño y análisis de experimentos. Versión escrita en clases. Santiago. Chile. Ed. Departamento de Matemáticas. Unidad de Cursos y Formación. Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas. Universidad de Chile. 101 p.
- DEL TREDICI, P. 1998. Lignotubers in *Sequoia sempervirens*: Development and ecological significance. Madroño. 45 (3): 8 -14.
- DEVORE, J. 2001. Probabilidad y estadística para ingeniería y ciencias. México. Edamsa Impresiones S.A.. 762 p.
- DIRR, M. y HEUSER, C. Jr. 1987. The reference manual of woody plant propagation. From seed to tissue culture. Georgia, USA. Varsity Press INC. 239 p.

- DURYEA, M. 1984. Nursery cultural practices. Impacts on seedling quality. pp. 1- 4. En: Evaluating seedling quality: principles, procedures and predictive abilities of mayor test. Forest Research Laboratory, Oregon State University. Corvallis, Oregon. 143 p.
- EVERETT, T. 1982. The New York Botanical Garden Illustrated Encyclopedia of Horticulture. New York. Garland Publishing. 370 p.
- EXSS, H. y GILBERT, H. 1988. Análisis comparativo entre *Sequoia sempervirens* creciendo en Chile y Estados Unidos. Seminario para la Cátedra "Estructura y propiedades de la madera". Departamento de Tecnología de la Madera. Facultad de Cs. Agrarias y Forestales, Universidad de Chile. Santiago. Chile. 20 p.
- FESTA, F.P. y GAMBI, G. 1978. Seasonal variations in the natural and induced rooting potential of *Sequoia sempervirens* cuttings. Itali. Annali dell' Instituto Sperimentale per la Selvicoltura. 9: 71-90.
- FINS, L. 1980. Propagation of giant Sequoia by rooting cuttings. Proc. Inter. Plant Prop. Soc. 30: 127-132.
- FISKE, J. y DeBELL, D. 1989. Silviculture of Pacific coast forests. En: Burns, Russell M. compiler. The scientific basis for silvicultural and management decisions in the National Forest System. Washington, DC: USDA, Forest Service. Gen. Tech. Rep. WO-55. pp 59-78.
- FOURET, Y.; ARNAUD, C.; LARRIEU, C. y MIGINIAC, E. 1986. *Sequoia sempervirens* as an *in vitro* rejuvenation model. New Zeland Journal of Forestry Science 16 (3): 319-327.
- GAETE, R. 1968. Análisis comparativo de crecimiento de *Sequoia sempervirens* en las provincias de Bío Bío y Malleco. En: Actas IV Jornadas Forestales, 24-26 de Octubre, 1968. Valparaíso. pp 68-75.
- GIL-ALBERT, F. y BOIX, E. 1978. Effect of treatment with IBA on rooting of ornamental conifers. Acta Hort. 79: 63-77.

- HARTMANN, H. y KESTER, D. 1980. Propagación de plantas. Principios y prácticas. México. Compañía Editorial Continental S. A. 814 p.
- \_\_\_\_\_. 1983. Plant propagation. Principles and practices. 4<sup>a</sup> Ed. New Jersey. USA. Prentice-Hall. 727 p.
- \_\_\_\_\_. 1988. Propagación de plantas. Principios y prácticas. México. Compañía Editorial Continental S. A. 760 p.
- HEEDE, V. 1981. El estaquillado. Guía práctica de multiplicación de las plantas. Madrid. Ediciones Mundi-prensa. 197 p.
- HERMOSILLA, M. 1996. Utilización de sustratos a base de corteza compostada para propagación vegetativa por medio de estacas de tallo. Tesis Ingeniería Forestal, Facultad de Ciencias Forestales, Universidad Austral de Chile, Valdivia. 83 p.
- HOFFMANN, A. 1983. El árbol urbano en Chile. Chile. Fundación Claudio Gay. 125 p.
- INFOR. 1998. Caracterización de la *Sequoia sempervirens*. INSTITUTO FORESTAL . Unidad de Tecnologías e Industrias de la Madera. Concepción. Chile. 28 p.
- JAMES, R. 1986. Propagation media: What a grower needs to know. Washington, U. S. A. The International Plant Propagators Society. 36: 396 - 399.
- JARVIS, B. y YASMIN, S. 1987. Plant growth regulators and adventitious root development in relation to auxin. Biol. Plant. 29: 189-198.
- JOROSLAVCEV, G. 1967. Root growth and regeneration in some representatives of Taxodiaceae family. Bjull. Glav. Bot. Bada 65: 98-102.
- KAINS, M. y M<sup>o</sup>QUESTEN, L. 1938. Propagation of plants. New York. USA. Orange Judd Publishing Company, INC. 639 p.

- KANNEGIESSER, U. 1990. Apuntes sobre *Sequoia sempervirens*. Descripción de la especie. Ciencia e Investigación Forestal. División Regional. INFOR, Concepción, Chile. Vol. 4(1): 124 -132.
- KRAMER, P. y KOSLOWSKI, T. 1979. Physiology of woody plants. New York. USA. Academic Press. 811 p.
- KUEHL, R. 2001. Diseño de experimentos. Principios estadísticos de diseño y análisis de investigación. Segunda edición. México. Ed. Thomson Learning. 666 p.
- LAMB, J. 1972. The use of peat in propagating hardy nursery stock at Kinsealy. Acta Hort. 26: 125-127.
- LENIHAN, J. 1990. Forest Assessment of Little Lost Man Creek. Humboldt Co., CA: reference-level in the hierarchical structure of old-growth coastal redwood vegetation. Madroño. 37(2): 69-87.
- LI, CH. 1969. Introducción a la estadística experimental. Barcelona. España. Ed. Omega. 496 p.
- LIBBY, W. 1982. Cloning coast redwoods. California Agriculture 36(8):34-35.
- LIBBY, W. y M<sup>C</sup>CUTCHAN, B. 1978. Taming the redwood. American Forests 84(8):18-23.
- LIBBY, W.; M<sup>C</sup>CUTCHAN, B. y MILLAR, C. 1981. Inbreeding depression in selfs of redwood. Silvae Genetica. 30:15-25.
- LINDQUIST, J. y PALLEY, M. 1963. Empirical yield tables for young growth redwood. California. Agr. Exp. Sta. Bull 796. 47p.
- MacDONALD, B. 1986. Practical woody plant propagation for nursery growers. London. Ed. Batsford. 669 p.
- MAKINO, R.; KURODA, H. y SHIMAJI, K. 1985. Morphological observation of the calli derived from four coniferous species *in vitro*. Wood Research. 71: 1 – 12.



- MASON, W. y JINKS, R. 1994. Vegetative propagation. En: Forest Nursery Practice. Great Britain Forestry Commission Bulletin. 111: 135 -147.
- MONTGOMERY, D. 1991. Diseño y análisis de experimentos. Grupo Ed. Iberoamericana. México. 589 p.
- NEAL, R., Jr. 1967. Sprouting of old-growth redwood stumps-first year after logging. USDA Forest Service. Pacific Southwest Forest and Range Experiment Station, Berkeley, CA. Research Note PSW-137. 8 p.
- OLESEN, P. 1973. Transmission of age changes in woody plants by vegetative propagation. Arsskrift, Kongelige Veterinaer-og. Landbohojskole. pp 54-70.
- OLESEN, P. 1978. Cyclophysis and topophysis. *Silvae Genetica* 27: 173-178.
- OLSON, D. F. y ROY, D. F. 1989. *Sequoia sempervirens* (D. Don) Ende. Redwood. In *Silvics of Forest Trees of the United States*. USDA, Agric. Handbook N° 271. 40 p.
- OSTLE, B. 1968. Estadística Aplicada. Técnicas de la estadística moderna, cuando y donde aplicarlas. México. Editorial Limusa – Wiley, S. A. 629 p.
- OTT, L. 1984. An introduction to statistical methods an data análisis. Second edition. Boston. Massachussets. USA. Duxbury Press. 775 p.
- PEATE, N. 1989. Media for cutting propagation. Washington. U. S. A. The International Plant Propagators Society. 39: 71-76.
- PLATT, G. 1980. Production of *Sequoiadendron giganteum* by cuttings. *Proc. Inter. Plant. Prop. Soc.* 30: 177-178.
- PLÜSS, R.; JENNY, T. y MEIER, H. 1989. IAA-induced adventitious root formation in greenwood cutting of *Populus tremula* and formation of 2-indolone-3-acetylaspartic acid, a new metabolite of exogenously applied indole-3-acetic acid. *Phisiol. Plant.* 75: 89-96.

- POWER, A.; DODD, R. y LIBBY, W. 1988. Cyclophysis and topophysis in coast redwood stecklings. *Silvae Genetica*. 37 (1): 8 –14.
- RAMÍREZ, J. 2002. *Sequoia sempervirens*: para tomar en cuenta. Chile Forestal. Marzo – Abril. N° 290. pp 27 – 29.
- RAMÍREZ, V. y CASTILLO, M. 1985. Estudio de las zonas de rechazo del análisis de varianza y algunas pruebas de comparaciones múltiples, para el caso de tres medias. México. *Agrociencia* N° 61:65-78.
- RODRÍGUEZ, G. y RODRÍGUEZ, R. 1983. Las especies de Taxodiaceae cultivadas en Chile. *Bosque* 5(1): 35 - 46.
- ROY, D. 1965. Redwood (*Sequoia sempervirens* (D. Don) Endl.). H. A. Fowells, comp. In: *Silvics of forest trees of the United States*. Washington, DC. USDA, Agriculture Handbook 271. pp 663-670.
- ROY, D. 1966. Silvical characteristics of redwood (*Sequoia sempervirens* (D. Don) Endl.). USDA, Forest Service. Pacific Southwest Forest and Range Experiment Station. Berkeley, CA. Research Paper PSW-28. 20 p.
- SABJA, A. 1980. Métodos de propagación vegetativa de algunas especies leñosas chilenas con posibilidades ornamentales. Tesis Ing. Forestal. Facultad de Ciencias Forestales. Universidad de Chile. 120 p.
- SANDOVAL, A. 1997. Propagación vegetativa de *Eucalyptus globulus* a través del enraizamiento de estacas. Tesis Ing. Forestal. Facultad de Ciencias Forestales. Universidad de Concepción. 50 p.
- SANTELICES, R. 1998. Propagación vegetativa del Hualo, (*Nothofagus glauca* (Phil.) Krasser), mediante estacas procedentes de rebrotes de tocón. Tesis Magister en Ciencias Forestales, Mención Manejo Forestal. Escuela de Postgrado. Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales. Universidad de Chile. 93 p.

- SERRA, M.T. 1987. Dendrología de coníferas y otras gimnospermas. Departamento de Silvicultura. Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales. Universidad de Chile. Apuntes Docentes N° 2. 264 p.
- SUMMERS, A. 1986. Manual para Viveros. Propagación Vegetativa de Pino Radiata. Sin editar. 20 pp.
- TEIXEIRA, S. 1981. Factors affecting rhizogenesis in stem cuttings. Ph.D. dissertation, University of California, Riverside, California, 238 p.
- THANH VAN, T. 1987. *In vitro* control of morphogenesis in conifers. Bonga J. En: Cell and tissue culture in forestry. Vol 2. pp 168-182.
- TORAL, M.; GARFIAS, R.; ABALOS, M.; GUTIÉRREZ, M.; GONZÁLEZ, L. y URTUBIA, C. 2003. Informe anual del Proyecto FONDEF D01 I 1008: Silvicultura y Manejo de la Sequoia en Chile y fomento de su plantación forestal sustentable. Propagación vegetativa de *Sequoia sempervirens* a través del cultivo de tejidos. Documento Principal. 180 p.
- TRAVAN, H.; BATDAT, F.; JACQUES, M. y ARNAUD, Y. 1991. Rajeunissement chez le *Sequoia sempervirens*: effects du microgreffage *in vitro*. Can J. Bot. 69: 1772-1779.
- TUFOUR, K. 1973. Comparative growth performance of seedling and vegetative propagules of *Pinus radiata* (D. Don) and *Sequoia sempervirens* (D. Don) Endl. Ph D. Thesis. University of California, Berkeley. 207 p.
- WALKER, N.; DUMAS, E.; FRANCLLET, A. y BEKKAOUI, F. 1985. Technic for *in vitro* meristem culture of *Sequoia sempervirens* and *Pinus pinaster*. Rech. Sylv. 1984, 87–109.
- WEBER, W. 1957. Silvicultura chilena actual. Chile. Ed. Hucke. 75 pp.
- WELLS, J. 1979. Plant propagation practices. 14<sup>a</sup> printing. New York. USA. Macmillan Publishing co., INC. 344 p.

WHITEMAN, J. y WIANT, H. Jr. 1967. Rooting of cuttings from second growth redwood trees and sprouts may be practical. *Tree PI. Notes* 18:13.

WOLFORD, J. y LIBBY, W. 1976. Rooting giant sequoia cuttings. *The Plant Propagator*. 22 (2): 11-13.

ZOBEL, B. y TALBERT, J. 1988. Técnicas de mejoramiento genético de árboles forestales. México. Ed. Limusa. 554 p.

## APÉNDICES

**Apéndice 1a.** Resultados para la variable porcentaje de sobrevivencia (sin la aplicación de la transformación de Bliss).

Variable observada: % de Sobrevivencia			PLANTAS MADRES													
			S. Plus A		S. Plus B		S. Plus C		S. Comercial		RB 54-22(5-13)		RB 54-22(5-19)		RB 2-23(6-15)	
SUSTRATOS			A	M	A	M	A	M	A	M	A	M	A	M	A	M
H O R M O N A	con H	R1	62,50	62,50	75,00	100,00	75,00	79,17	62,50	54,17	91,67	75,00	50,00	62,50	83,33	0,00
		R2	83,33	66,67	83,33	62,50	54,17	79,17	58,33	20,83	83,33	33,33	83,33	79,17	4,17	20,83
		R3	83,33	75,00	66,67	87,50	75,00	87,50	62,50	75,00	87,50	91,67	91,67	50,00	50,00	20,83
H O R M O N A	sin H	R1	45,83	58,33	83,33	62,50	83,33	79,17	37,50	4,17	62,50	91,67	100,00	100,00	20,83	70,83
		R2	58,33	75,00	37,50	91,67	50,00	87,50	41,67	37,50	58,33	100,00	95,83	83,33	41,67	8,33
		R3	54,17	100,00	91,67	91,67	70,83	70,83	62,50	66,67	70,83	95,83	95,83	91,67	29,17	33,33

**Apéndice 1b.** Análisis de varianza al 0,05 para la variable porcentaje de sobrevivencia.

ANÁLISIS DE VARIANZA (TABLA ANDEVA)						
FV	GL	SC	CM	RAZÓN F	F CRÍTICO	SIGNIF.
MEDIA TRATAMIENTO	1	261364,69				
A: PLANTAS MADRES	6	12371,78	2061,96	11,916	2,265	*
B: SUSTRATOS	1	19,54	19,54	0,113	4,012	N.S
C: HORMONA	1	120,41	120,41	0,696	4,012	N.S
A*B	6	1319,05	219,84	1,270	2,265	N.S
A*C	6	1734,45	289,08	1,671	2,265	N.S
B*C	1	816,27	816,27	4,717	4,012	*
A*B*C	6	1439,78	239,96	1,387	2,265	N.S
ERROR EXPERIMENTAL	56	9690,12	173,04			
TOTAL	84	288876,09			F(6;56;0,95) = 2,265 F(1;56;0,95) = 4,012	

\* = Significativo al 0,05

N.S. = No significativo

**Nota:** para la construcción del ANDEVA los valores porcentuales fueron transformados a valores angulares, mediante la transformación de Bliss.

**Apéndice 1c.** Prueba de Tukey al 0,05 para las medias del efecto de la interacción significativa entre el sustrato y el factor hormonal.

Comparación de medias						
Prueba de Tukey (diferencias de medias)			1°	2°	3°	4°
			60,58	57,22	53,38	51,95
1°	M, sin H	60,58	***	3,36	7,2	8,63
2°	A, con H	57,22	-3,36	***	3,84	5,27
3°	A, sin H	53,38	-7,2	-3,84	***	1,43
4°	M, con H	51,95	-8,63	-5,27	-1,43	***
Error estándar= 2,8705400						
q (0,05; 4; 56) = 3,75						
DHS crítico = 2,870 * 3,75 = 10,76						

**Conclusión:** la Prueba de Tukey no encontró diferencias significativas entre las medias de la interacción. Este resultado difiere con el entregado por el ANDEVA ( $\alpha = 0,05$ ), que señala que si existen diferencias significativas.

**Nota:** las diferencias son simétricas a ambos lados de la diagonal principal.

**Apéndice 1d. Prueba de Tukey para el efecto de las plantas madres (% de sobrevivencia).**

**Comparaciones múltiples**

Variable dependiente: % de Sobrevivencia

DHS de Tukey

(I) var de plantas	(J) var de plantas	Diferencia entre medias (I-J)	Error típ.	Significación	Intervalo de confianza al 95%.	
					Límite inferior	Límite superior
Plus A	Plus B	-6,42708	5,370250	,892	-22,84935	9,99518
	Plus C	-2,45167	5,370250	,999	-18,87393	13,97060
	RB223615	25,35150*	5,370250	,000	8,92923	41,77377
	RB54513	-7,25658	5,370250	,825	-23,67885	9,16568
	RB54519	-10,76333	5,370250	,424	-27,18560	5,65893
	S. Comer	13,94317	5,370250	,147	-2,47910	30,36543
Plus B	Plus A	6,42708	5,370250	,892	-9,99518	22,84935
	Plus C	3,97542	5,370250	,989	-12,44685	20,39768
	RB223615	31,77858*	5,370250	,000	15,35632	48,20085
	RB54513	-,82950	5,370250	1,000	-17,25177	15,59277
	RB54519	-4,33625	5,370250	,983	-20,75852	12,08602
	S. Comer	20,37025*	5,370250	,006	3,94798	36,79252
Plus C	Plus A	2,45167	5,370250	,999	-13,97060	18,87393
	Plus B	-3,97542	5,370250	,989	-20,39768	12,44685
	RB223615	27,80317*	5,370250	,000	11,38090	44,22543
	RB54513	-4,80492	5,370250	,972	-21,22718	11,61735
	RB54519	-8,31167	5,370250	,715	-24,73393	8,11060
	S. Comer	16,39483	5,370250	,051	-,02743	32,81710
RB223615	Plus A	-25,35150*	5,370250	,000	-41,77377	-8,92923
	Plus B	-31,77858*	5,370250	,000	-48,20085	-15,35632
	Plus C	-27,80317*	5,370250	,000	-44,22543	-11,38090
	RB54513	-32,60808*	5,370250	,000	-49,03035	-16,18582
	RB54519	-36,11483*	5,370250	,000	-52,53710	-19,69257
	S. Comer	-11,40833	5,370250	,353	-27,83060	5,01393
RB54513	Plus A	7,25658	5,370250	,825	-9,16568	23,67885
	Plus B	,82950	5,370250	1,000	-15,59277	17,25177
	Plus C	4,80492	5,370250	,972	-11,61735	21,22718
	RB223615	32,60808*	5,370250	,000	16,18582	49,03035
	RB54519	-3,50675	5,370250	,995	-19,92902	12,91552
	S. Comer	21,19975*	5,370250	,004	4,77748	37,62202
RB54519	Plus A	10,76333	5,370250	,424	-5,65893	27,18560
	Plus B	4,33625	5,370250	,983	-12,08602	20,75852
	Plus C	8,31167	5,370250	,715	-8,11060	24,73393
	RB223615	36,11483*	5,370250	,000	19,69257	52,53710
	RB54513	3,50675	5,370250	,995	-12,91552	19,92902
	S. Comer	24,70650*	5,370250	,000	8,28423	41,12877
S. Comer	Plus A	-13,94317	5,370250	,147	-30,36543	2,47910
	Plus B	-20,37025*	5,370250	,006	-36,79252	-3,94798
	Plus C	-16,39483	5,370250	,051	-32,81710	,02743
	RB223615	11,40833	5,370250	,353	-5,01393	27,83060
	RB54513	-21,19975*	5,370250	,004	-37,62202	-4,77748
	RB54519	-24,70650*	5,370250	,000	-41,12877	-8,28423

Basado en las medias observadas.

\*. La diferencia de medias es significativa al nivel ,05.

\*. Se ha detectado el símbolo ,05 donde se esperaba un paréntesis de cierre en el subcomando TEST.



**Apéndice 1e.** Análisis de varianza con  $\alpha = 0,1$  (10 %) para la variable porcentaje de sobrevivencia.

ANÁLISIS DE VARIANZA (TABLA ANDEVA)						
FV	GL	SC	CM	RAZÓN F	F CRÍTICO	SIGNIF.
MEDIA TRATAMIENTO	1	261364,69				
A: PLANTAS MADRES	6	12371,78	2061,96	11,916	1,882	*
B: SUSTRATOS	1	19,54	19,54	0,113	2,757	N.S
C: HORMONA	1	120,41	120,41	0,696	2,757	N.S
A*B	6	1319,05	219,84	1,270	1,882	N.S
A*C	6	1734,45	289,08	1,671	1,882	N.S
B*C	1	816,27	816,27	4,717	2,757	*
A*B*C	6	1439,78	239,96	1,387	1,882	N.S
ERROR EXPERIMENTAL	56	9690,12	173,04			
TOTAL	84	288876,09			F(1;56;0,90) = 2,757 F(6;56;0,90) = 1,882	

\* = Significativo al 0,10

N.S. = No significativo

**Apéndice 1f.** Prueba de tukey al 0,1 para las medias de la interacción B\*C; sustrato con el factor hormonal.

Comparación de medias						
Prueba de Tukey (diferencias de medias)			1°	2°	3°	4°
			60,58	57,22	53,38	51,95
1°	M, sin H	60,58	***	3,36	7,2	8,63
2°	A, con H	57,22	-3,36	***	3,84	5,27
3°	A, sin H	53,38	-7,2	-3,84	***	1,43
4°	M, con H	51,95	-8,63	-5,27	-1,43	***
Error estándar= 2,8705400						
q (0,1; 4; 56) = 3,32						
DHS crítico = 2,870 * 3,32 = 9,52						

**Conclusión:** la Prueba de Tukey no encontró diferencias significativas entre las medias de la interacción. Este resultado difiere con el entregado por el ANDEVA ( $\alpha = 0,1$ ) que señala que si existen diferencias significativas.

**Nota:** las diferencias son simétricas a ambos lados de la diagonal principal.

**Apéndice 1g.** Análisis de varianza al 0,01 (1%) para la variable porcentaje de sobrevivencia.

<b>ANÁLISIS DE VARIANZA (TABLA ANDEVA)</b>						
<b>FV</b>	<b>GL</b>	<b>SC</b>	<b>CM</b>	<b>RAZÓN F</b>	<b>F CRÍTICO</b>	<b>SIGNIF.</b>
<b>MEDIA TRATAMIENTO</b>	1	261364,69				
<b>A: PLANTAS MADRES</b>	6	12371,78	2061,96	11,916	3,142	*
<b>B: SUSTRATOS</b>	1	19,54	19,54	0,113	7,110	N.S
<b>C: HORMONA</b>	1	120,41	120,41	0,696	7,110	N.S
<b>A*B</b>	6	1319,05	219,84	1,270	3,142	N.S
<b>A*C</b>	6	1734,45	289,08	1,671	3,142	N.S
<b>B*C</b>	1	816,27	816,27	4,717	7,110	*
<b>A*B*C</b>	6	1439,78	239,96	1,387	3,142	N.S
<b>ERROR EXPERIMENTAL</b>	56	9690,12	173,04			
<b>TOTAL</b>	84	288876,09			F(1;56;0,99) = 7,110 F(6;56;0,99) = 3,142	

\* = Significativo al 0,01

N.S. = No significativo

**Apéndice 2a.** Porcentaje de enraizamiento de estacas observado en el experimento, con tres repeticiones por combinación de tratamiento.

Variable observada:			PLANTAS MADRES													
			S. Plus A		S. Plus B		S. Plus C		S. Comercial		RB 54-22(5-13)		RB 54-22(5-19)		RB 2-23(6-15)	
% de enraizamiento			A	M	A	M	A	M	A	M	A	M	A	M	A	M
<b>H O R M O N A</b>	con H	R1	54,17	54,17	58,33	62,50	29,17	83,33	45,83	25,00	58,33	54,17	54,17	25,00	54,17	20,83
		R2	70,83	66,67	58,33	83,33	70,83	70,83	45,83	54,17	41,67	41,67	75,00	66,67	4,17	0,00
		R3	83,33	54,17	50,00	100,00	75,00	87,50	66,67	75,00	45,83	16,67	29,17	58,33	45,83	16,67
	sin H	R1	25,00	62,50	66,67	41,67	70,83	58,33	16,67	4,17	54,17	20,83	33,33	16,67	8,33	8,33
		R2	33,33	20,83	20,83	58,33	41,67	54,17	29,17	37,50	54,17	25,00	29,17	37,50	25,00	12,50
		R3	25,00	58,33	58,33	87,50	75,00	70,83	33,33	50,00	12,50	50,00	20,83	25,00	12,50	37,50

**Apéndice 2b.** Análisis de varianza para la variable porcentaje de enraizamiento.

ANÁLISIS DE VARIANZA (TABLA ANDEVA)						
FV	GL	SC	CM	RAZON F	F CRÍTICO	SIGNIF.
<b>MEDIA TRATAMIENTOS</b>	1	148011,22				
<b>A: PLANTAS MADRES</b>	6	7697,16	1282,86	9,403	2,265	*
<b>B: SUSTRATOS</b>	1	39,50	39,50	0,290	4,012	N.S.
<b>C: HORMONA</b>	1	1936,11	1936,11	14,192	4,012	*
<b>A*B</b>	6	1053,28	175,55	1,287	2,265	N.S.
<b>A*C</b>	6	616,47	102,74	0,753	2,265	N.S.
<b>B*C</b>	1	26,05	26,05	0,191	4,012	N.S.
<b>A*B*C</b>	6	797,12	132,85	0,974	2,265	N.S.
<b>ERROR EXPERIMENTAL</b>	56	7639,92	136,43			
<b>TOTAL</b>	84	167816,82			F(1;56;0,95) = 4,012 F(6;56;0,95) = 2,265	

\* = Significativo al 0,05

N.S. = No significativo

**Nota:** para la construcción del ANDEVA los valores porcentuales fueron transformados a valores angulares (normalizados), mediante la transformación de Bliss.

**Apéndice 2c. Prueba de Tukey para el efecto de las plantas madres (% de enraizamiento).**

**Comparaciones múltiples**

Variable dependiente: % enraizamiento  
DHS de Tukey

(I) var de plantas	(J) var de plantas	Diferencia entre medias (I-J)	Error típ.	Significación	Intervalo de confianza al 95%.	
					Límite inferior	Límite superior
Plus A	Plus B	-8,26192	4,768418	,598	-22,84378	6,31994
	Plus C	-9,16217	4,768418	,475	-23,74403	5,41969
	RB223615	20,73508*	4,768418	,001	6,15322	35,31694
	RB54513	6,88667	4,768418	,775	-7,69519	21,46853
	RB54519	6,91700	4,768418	,772	-7,66486	21,49886
	S. Comer	6,72067	4,768418	,794	-7,86119	21,30253
Plus B	Plus A	8,26192	4,768418	,598	-6,31994	22,84378
	Plus C	-,90025	4,768418	1,000	-15,48211	13,68161
	RB223615	28,99700*	4,768418	,000	14,41514	43,57886
	RB54513	15,14858*	4,768418	,037	,56672	29,73044
	RB54519	15,17892*	4,768418	,036	,59706	29,76078
	S. Comer	14,98258*	4,768418	,040	,40072	29,56444
Plus C	Plus A	9,16217	4,768418	,475	-5,41969	23,74403
	Plus B	,90025	4,768418	1,000	-13,68161	15,48211
	RB223615	29,89725*	4,768418	,000	15,31539	44,47911
	RB54513	16,04883*	4,768418	,022	1,46697	30,63069
	RB54519	16,07917*	4,768418	,022	1,49731	30,66103
	S. Comer	15,88283*	4,768418	,024	1,30097	30,46469
RB223615	Plus A	-20,73508*	4,768418	,001	-35,31694	-6,15322
	Plus B	-28,99700*	4,768418	,000	-43,57886	-14,41514
	Plus C	-29,89725*	4,768418	,000	-44,47911	-15,31539
	RB54513	-13,84842	4,768418	,073	-28,43028	,73344
	RB54519	-13,81808	4,768418	,074	-28,39994	,76378
	S. Comer	-14,01442	4,768418	,067	-28,59628	,56744
RB54513	Plus A	-6,88667	4,768418	,775	-21,46853	7,69519
	Plus B	-15,14858*	4,768418	,037	-29,73044	-,56672
	Plus C	-16,04883*	4,768418	,022	-30,63069	-1,46697
	RB223615	13,84842	4,768418	,073	-,73344	28,43028
	RB54519	,03033	4,768418	1,000	-14,55153	14,61219
	S. Comer	-,16600	4,768418	1,000	-14,74786	14,41586
RB54519	Plus A	-6,91700	4,768418	,772	-21,49886	7,66486
	Plus B	-15,17892*	4,768418	,036	-29,76078	-,59706
	Plus C	-16,07917*	4,768418	,022	-30,66103	-1,49731
	RB223615	13,81808	4,768418	,074	-,76378	28,39994
	RB54513	-,03033	4,768418	1,000	-14,61219	14,55153
	S. Comer	-,19633	4,768418	1,000	-14,77819	14,38553
S. Comer	Plus A	-6,72067	4,768418	,794	-21,30253	7,86119
	Plus B	-14,98258*	4,768418	,040	-29,56444	-,40072
	Plus C	-15,88283*	4,768418	,024	-30,46469	-1,30097
	RB223615	14,01442	4,768418	,067	-,56744	28,59628
	RB54513	,16600	4,768418	1,000	-14,41586	14,74786
	RB54519	-,19633	4,768418	1,000	-14,38553	14,77819

Basado en las medias observadas.

\*. La diferencia de medias es significativa al nivel ,05.

\*. Se ha detectado el símbolo ,05 donde se esperaba un paréntesis de cierre en el subcomando TEST.

**Apéndice 3a.1.** Porcentajes de estacas que formaron solamente callo (para todas las combinaciones de tratamientos).

Variable: % CALLO (solo)		PLANTAS MADRES														
		S. Plus A		S. Plus B		S. Plus C		S. Comercial		RB 54-22(5-13)		RB 54-22(5-19)		RB 2-23(6-15)		
SUSTRATOS		A	M	A	M	A	M	A	M	A	M	A	M	A	M	
H O R M O N A	con H	R1	8,3	4,2	16,7	8,3	20,8	8,3	37,5	0,0	25,0	33,3	33,3	0,0	29,2	8,3
		R2	16,7	25,0	12,5	4,2	0,0	8,3	8,3	8,3	37,5	29,2	25,0	4,2	0,0	0,0
		R3	12,5	16,7	33,3	0,0	0,0	4,2	16,7	8,3	41,7	0,0	20,8	0,0	20,8	8,3
	sin H	R1	20,8	20,8	16,7	8,3	4,2	8,3	50,0	0,0	0,0	41,7	45,8	50,0	29,2	0,0
		R2	12,5	33,3	25,0	25,0	8,3	8,3	50,0	4,2	8,3	75,0	45,8	25,0	20,8	33,3
		R3	41,7	41,7	16,7	8,3	4,2	12,5	16,7	12,5	37,5	8,3	66,7	12,5	37,5	37,5

Nota: A: arena, M: mezcla

**Apéndice 3a.2.** Porcentajes promedios por combinación de tratamientos, de estacas que formaron solamente callo.

Variable observada:		PLANTAS MADRES													
% formación solo callo		S. Plus A		S. Plus B		S. Plus C		S. Comercial		RB 54-22(5-13)		RB 54-22(5-19)		RB 2-23(6-15)	
SUSTRATOS		A	M	A	M	A	M	A	M	A	M	A	M	A	M
HORMONA	con H	12,50	15,28	20,83	4,17	6,94	6,94	20,83	5,56	34,72	20,83	26,39	1,39	16,67	5,56
	sin H	25,00	31,94	19,44	13,89	5,56	9,72	38,89	5,56	15,28	41,67	52,78	29,17	29,17	23,61

Nota: A: arena, M: mezcla

**Apéndice 3b.1.** Porcentajes de estacas que formaron callo a partir del total de estacas enraizadas de la unidad experimental (para todas las combinaciones de tratamientos).

Variable: % CALLO		PLANTAS MADRES														
		S. Plus A		S. Plus B		S. Plus C		S. Comercial		RB 54-22(5-13)		RB 54-22(5-19)		RB 2-23(6-15)		
SUSTRATOS		A	M	A	M	A	M	A	M	A	M	A	M	A	M	
H O R M O N A	con H	R1	38,5	61,5	64,3	86,7	100,0	90,0	72,7	100,0	85,7	92,3	100,0	16,7	69,2	100,0
		R2	100,0	56,3	71,4	55,0	35,3	29,4	100,0	53,8	100,0	80,0	72,2	93,8	100,0	0,0
		R3	65,0	61,5	66,7	50,0	38,9	90,5	68,8	77,8	81,8	25,0	85,7	14,3	100,0	100,0
	sin H	R1	100,0	80,0	62,5	80,0	47,1	85,7	75,0	100,0	61,5	80,0	50,0	100,0	100,0	0,0
		R2	87,5	0,0	100,0	71,4	70,0	53,8	100,0	66,7	38,5	66,7	71,4	66,7	100,0	100,0
		R3	100,0	100,0	57,1	85,7	66,7	64,7	75,0	50,0	66,7	41,7	100,0	66,7	100,0	66,7

Nota: A: arena, M: mezcla

**Apéndice 3b.2.** Porcentajes promedios por combinación de tratamientos, de estacas que formaron callo a partir del total de estacas enraizadas por unidad experimental.

Variable observada:		PLANTAS MADRES													
% callo del total enraiz		S. Plus A		S. Plus B		S. Plus C		S. Comercial		RB 54-22(5-13)		RB 54-22(5-19)		RB 2-23(6-15)	
SUSTRATOS		A	M	A	M	A	M	A	M	A	M	A	M	A	M
HORMONA	con H	67,82	59,78	67,46	63,89	58,06	69,96	80,49	77,21	89,18	65,77	85,98	41,57	89,74	66,67
	sin H	95,83	60,00	73,21	79,05	61,24	68,09	83,33	72,22	55,56	62,78	73,81	77,78	100,00	55,56

Nota: A: arena, M: mezcla

**Apéndice 3c.** Porcentaje total de estacas que formó callo en cada unidad experimental (incluyendo tanto estacas enraizadas, como no enraizadas).

Variable:			PLANTAS MADRES													
			S. Plus A		S. Plus B		S. Plus C		S. Comercial		RB 54-22(5-13)		RB 54-22(5-19)		RB 2-23(6-15)	
% total de callo form			A	M	A	M	A	M	A	M	A	M	A	M	A	M
SUSTRATOS																
H O R M O N A	con H	R1	29,2	37,5	54,2	62,5	50,0	83,3	70,8	25,0	75,0	83,3	87,5	4,2	66,7	29,2
		R2	87,5	62,5	54,2	50,0	25,0	29,2	54,2	37,5	79,2	62,5	79,2	66,7	4,2	0,0
		R3	66,7	50,0	66,7	50,0	29,2	83,3	62,5	66,7	79,2	4,2	45,8	8,3	66,7	25,0
	sin H	R1	45,8	70,8	58,3	41,7	37,5	58,3	62,5	4,2	33,3	58,3	62,5	66,7	37,5	0,0
		R2	41,7	33,3	45,8	66,7	37,5	37,5	79,2	29,2	29,2	91,7	66,7	50,0	45,8	45,8
		R3	66,7	100,0	50,0	83,3	54,2	58,3	41,7	37,5	45,8	29,2	87,5	29,2	50,0	62,5

Nota: A: arena, M: mezcla

**Apéndice 4a.** Resultados para el volumen radicular. Estos valores se muestran sin la transformación de Bliss (los valores corresponden a los promedios observados en cada unidad experimental).

Variable observada:			PLANTAS MADRES													
			S. Plus A		S. Plus B		S. Plus C		S. Comercial		RB 54-22(5-13)		RB 54-22(5-19)		RB 2-23(6-15)	
Volumen radicular (cc)			A	M	A	M	A	M	A	M	A	M	A	M		
SUSTRATOS																
H O R M O N A	con H	R1	0,250	0,375	0,146	0,667	0,458	0,479	0,271	0,167	0,167	0,125	0,167	0,333	0,271	0,083
		R2	0,313	0,375	0,208	0,292	0,083	0,500	0,208	0,375	0,167	0,083	0,250	0,063	0,017	0,000
		R3	0,542	0,229	0,250	0,375	0,625	0,792	0,375	0,500	0,075	0,033	0,042	0,250	0,083	0,029
	sin H	R1	0,058	0,292	0,292	0,125	0,058	0,250	0,025	0,017	0,083	0,067	0,063	0,083	0,025	0,008
		R2	0,083	0,042	0,292	0,167	0,417	0,167	0,167	0,083	0,004	0,042	0,104	0,017	0,083	0,083
		R3	0,025	0,250	0,021	0,250	0,042	0,208	0,025	0,146	0,125	0,083	0,025	0,083	0,017	0,004

**Apéndice 4b.** Análisis de varianza para la variable volumen radicular (cc).

ANÁLISIS DE VARIANZA (TABLA ANDEVA)						
FV	GL	SC	CM	RAZÓN F	F CRÍTICO	SIGNIF.
MEDIA TRATAMIENTOS	1	2,89				
A: PLANTAS MADRES	6	0,734	0,122	8,891	2,265	*
B: SUSTRATOS	1	0,030	0,030	2,193	4,013	N.S.
C: HORMONA	1	0,517	0,517	37,619	4,012	*
A*B	6	0,073	0,012	0,881	2,265	N.S.
A*C	6	0,178	0,030	2,159	2,265	N.S.
B*C	1	0,006	0,006	0,455	4,013	N.S.
A*B*C	6	0,102	0,017	1,241	2,265	N.S.
ERROR EXPERIMENTAL	56	0,77	0,014			
TOTAL	84	5,30			F(1;56;0,95) = 4,013 F(6;56;0,95) = 2,265	

\* = Significativo al 0,05

N.S. = No significativo

## Apéndice 4c. Prueba de Tukey para el efecto de las plantas madres (volumen radicular).

### Comparaciones múltiples

Variable dependiente: Volumen radicular  
DHS de Tukey

(I) Variedad de plantas	(J) Variedad de plantas	Diferencia entre medias (I-J)	Error ttp.	Significación	Intervalo de confianza al 95%.	
					Límite inferior	Límite superior
Plus A	Plus B	-,02092	,047862	,999	-,16728	,12544
	Plus C	-,10375	,047862	,329	-,25011	,04261
	RB223615	,17758*	,047862	,008	,03122	,32394
	RB54513	,14833*	,047862	,045	,00197	,29469
	RB54519	,11283	,047862	,236	-,03353	,25919
	S. Comer	,03958	,047862	,981	-,10678	,18594
Plus B	Plus A	,02092	,047862	,999	-,12544	,16728
	Plus C	-,08283	,047862	,599	-,22919	,06353
	RB223615	,19850*	,047862	,002	,05214	,34486
	RB54513	,16925*	,047862	,014	,02289	,31561
	RB54519	,13375	,047862	,095	-,01261	,28011
	S. Comer	,06050	,047862	,865	-,08586	,20686
Plus C	Plus A	,10375	,047862	,329	-,04261	,25011
	Plus B	,08283	,047862	,599	-,06353	,22919
	RB223615	,28133*	,047862	,000	,13497	,42769
	RB54513	,25208*	,047862	,000	,10572	,39844
	RB54519	,21658*	,047862	,001	,07022	,36294
	S. Comer	,14333	,047862	,059	-,00303	,28969
RB223615	Plus A	-,17758*	,047862	,008	-,32394	-,03122
	Plus B	-,19850*	,047862	,002	-,34486	-,05214
	Plus C	-,28133*	,047862	,000	-,42769	-,13497
	RB54513	-,02925	,047862	,996	-,17561	,11711
	RB54519	-,06475	,047862	,824	-,21111	,08161
	S. Comer	-,13800	,047862	,077	-,28436	,00836
RB54513	Plus A	-,14833*	,047862	,045	-,29469	-,00197
	Plus B	-,16925*	,047862	,014	-,31561	-,02289
	Plus C	-,25208*	,047862	,000	-,39844	-,10572
	RB223615	,02925	,047862	,996	-,11711	,17561
	RB54519	-,03550	,047862	,989	-,18186	,11086
	S. Comer	-,10875	,047862	,276	-,25511	,03761
RB54519	Plus A	-,11283	,047862	,236	-,25919	,03353
	Plus B	-,13375	,047862	,095	-,28011	,01261
	Plus C	-,21658*	,047862	,001	-,36294	-,07022
	RB223615	,06475	,047862	,824	-,08161	,21111
	RB54513	,03550	,047862	,989	-,11086	,18186
	S. Comer	-,07325	,047862	,726	-,21961	,07311
S. Comer	Plus A	-,03958	,047862	,981	-,18594	,10678
	Plus B	-,06050	,047862	,865	-,20686	,08586
	Plus C	-,14333	,047862	,059	-,28969	,00303
	RB223615	,13800	,047862	,077	-,00836	,28436
	RB54513	,10875	,047862	,276	-,03761	,25511
	RB54519	,07325	,047862	,726	-,07311	,21961

Basado en las medias observadas.

\*. La diferencia de medias es significativa al nivel ,05.

\*. Se ha detectado el símbolo ,05 donde se esperaba un paréntesis de cierre en el subcomando TEST.

**Apéndice 5a.** Resultados observados para la variable peso seco radicular (g) (promedio por unidad experimental).

Variable observada: Peso seco radicular (g)		VARIEDAD DE PLANTAS MADRES													
		S. Plus A		S. Plus B		S. Plus C		S. Comercial		RB 54-22(5-13)		RB 54-22(5-19)		RB 2-23(6-15)	
TIPO DE SUSTRATO		A	M	A	M	A	M	A	M	A	M	A	M	A	M
H O R	con H	0,046	0,054	0,017	0,113	0,063	0,071	0,050	0,029	0,017	0,013	0,025	0,054	0,025	0,013
		0,071	0,063	0,029	0,038	0,008	0,071	0,042	0,063	0,013	0,004	0,038	0,000	0,000	0,000
		0,104	0,029	0,038	0,063	0,117	0,163	0,079	0,138	0,017	0,000	0,004	0,033	0,000	0,008
M O N A	sin H	0,008	0,050	0,033	0,025	0,004	0,046	0,000	0,000	0,008	0,013	0,008	0,013	0,008	0,000
		0,004	0,000	0,042	0,025	0,058	0,021	0,017	0,004	0,000	0,004	0,017	0,000	0,008	0,008
		0,013	0,050	0,000	0,067	0,000	0,033	0,000	0,025	0,021	0,021	0,004	0,000	0,008	0,004

Nota: A: arena, M: mezcla

**Apéndice 5b.** Análisis de varianza para el peso seco radicular (g).

ANÁLISIS DE VARIANZA (TABLA ANDEVA)						
FV	GL	SC	CM	RAZÓN F	F CRÍTICO	SIGNIF.
MEDIA TRATAMIENTO	1	0,074				
A: PLANTAS MADRES	6	0,024	0,004	6,521	2,265	*
B: SUSTRATOS	1	0,002	0,002	2,585	4,012	N.S
C: HORMONA	1	0,016	0,016	25,83	4,012	*
A*B	6	0,003	0,001	0,916	2,265	N.S
A*C	6	0,011	0,002	2,943	2,265	*
B*C	1	0,000	0,000	0,099	4,012	N.S
A*B*C	6	0,003	0,001	0,934	2,265	N.S
ERROR EXPERIMENTAL	56	0,034	0,001			
TOTAL	84	0,166			F(1;56;0,95) = 4,013 F(6;56;0,95) = 2,265	

\* = Significativo al 0,05

N.S. = No significativo



**Apéndice 5c.** Prueba de Tukey para las medias del efecto significativo de la interacción entre las plantas madres y la hormona, según el peso seco radicular.

		COMPARACIÓN DE MEDIAS														
Prueba de Tukey		1°	2°	3°	4°	5°	6°	7°	8°	9°	10°	11°	12°	13°	14°	
(diferencia de medias en g.)		0,082	0,067	0,061	0,049	0,032	0,027	0,026	0,021	0,011	0,010	0,008	0,008	0,007	0,006	
1°	S. Plus C, con H	0,082	****	0,015	0,021	0,033	0,050	0,055	0,056	0,061	0,071	0,072	0,074	0,074	0,075	0,076
2°	S. Comercial, con H	0,067	-0,015	***	0,006	0,017	0,035	0,040	0,041	0,046	0,056	0,056	0,059	0,059	0,060	0,060
3°	S. Plus A, con H	0,061	-0,021	-0,006	***	0,012	0,029	0,034	0,035	0,040	0,050	0,051	0,053	0,053	0,054	0,055
4°	S. Plus B, con H	0,049	-0,033	-0,017	-0,012	***	0,017	0,022	0,024	0,028	0,038	0,039	0,042	0,042	0,042	0,043
5°	S. Plus B, sin H	0,032	-0,050	-0,035	-0,029	-0,017	***	0,005	0,006	0,011	0,021	0,022	0,024	0,024	0,025	0,026
6°	S. Plus C, sin H	0,027	-0,055	-0,040	-0,034	-0,022	-0,005	***	0,001	0,006	0,016	0,017	0,019	0,019	0,020	0,021
7°	RB 54-22(5-19), con H	0,026	-0,056	-0,041	-0,035	-0,024	-0,006	-0,001	***	0,005	0,015	0,015	0,018	0,018	0,019	0,019
8°	S. Plus A, sin H	0,021	-0,061	-0,046	-0,040	-0,028	-0,011	-0,006	-0,005	***	0,010	0,010	0,013	0,013	0,014	0,015
9°	RB 54-22(5-13), sin H	0,011	-0,071	-0,056	-0,050	-0,038	-0,021	-0,016	-0,015	-0,010	***	0,001	0,003	0,003	0,004	0,005
10°	RB 54-22(5-13), con H	0,010	-0,072	-0,056	-0,051	-0,039	-0,022	-0,017	-0,015	-0,010	-0,001	***	0,003	0,003	0,003	0,004
11°	RB 2-23(6-15), con H	0,008	-0,074	-0,059	-0,053	-0,042	-0,024	-0,019	-0,018	-0,013	-0,003	-0,003	***	0,000	0,001	0,001
12°	S. Comercial, sin H	0,008	-0,074	-0,059	-0,053	-0,042	-0,024	-0,019	-0,018	-0,013	-0,003	-0,003	0,000	***	0,001	0,001
13°	RB 54-22(5-19), sin H	0,007	-0,075	-0,060	-0,054	-0,042	-0,025	-0,020	-0,019	-0,014	-0,004	-0,003	-0,001	-0,001	***	0,001
14°	RB 2-23(6-15), sin H	0,006	-0,076	-0,060	-0,055	-0,043	-0,026	-0,021	-0,019	-0,015	-0,005	-0,004	-0,001	-0,001	-0,001	***
Error estándar = 0,001290																
Q(0,05;14;56) = 4,962																
DHS crítico = 0,001290*4,962 = 0,0069084																

**Conclusión:** los valores en color rojo corresponden a diferencias significativas ( $\alpha = 0,05$ ), según la prueba de Tukey.

**Nota:** las diferencias son simétricas a ambos lados de la diagonal principal.

**Apéndice 5d.** Prueba de Tukey para el efecto de las plantas madres (peso seco radicular).

**Comparaciones múltiples**

Variable dependiente: Peso seco radicular (g)

DHS de Tukey

(I) Variedad de plantas	(J) Variedad de plantas	Diferencia entre medias (I-J)	Error típ.	Significación	Intervalo de confianza al 95%.	
					Límite inferior	Límite superior
Plus A	Plus B	,00017	,010076	1,000	-,03065	,03098
	Plus C	-,01358	,010076	,826	-,04440	,01723
	RB223615	,03417*	,010076	,021	,00335	,06498
	RB54513	,03008	,010076	,060	-,00073	,06090
	RB54519	,02467	,010076	,199	-,00615	,05548
	S. Comer	,00375	,010076	1,000	-,02706	,03456
Plus B	Plus A	-,00017	,010076	1,000	-,03098	,03065
	Plus C	-,01375	,010076	,818	-,04456	,01706
	RB223615	,03400*	,010076	,022	,00319	,06481
	RB54513	,02992	,010076	,062	-,00090	,06073
	RB54519	,02450	,010076	,205	-,00631	,05531
	S. Comer	,00358	,010076	1,000	-,02723	,03440
Plus C	Plus A	,01358	,010076	,826	-,01723	,04440
	Plus B	,01375	,010076	,818	-,01706	,04456
	RB223615	,04775*	,010076	,000	,01694	,07856
	RB54513	,04367*	,010076	,001	,01285	,07448
	RB54519	,03825*	,010076	,006	,00744	,06906
	S. Comer	,01733	,010076	,606	-,01348	,04815
RB223615	Plus A	-,03417*	,010076	,021	-,06498	-,00335
	Plus B	-,03400*	,010076	,022	-,06481	-,00319
	Plus C	-,04775*	,010076	,000	-,07856	-,01694
	RB54513	-,00408	,010076	1,000	-,03490	,02673
	RB54519	-,00950	,010076	,964	-,04031	,02131
	S. Comer	-,03042	,010076	,055	-,06123	,00040
RB54513	Plus A	-,03008	,010076	,060	-,06090	,00073
	Plus B	-,02992	,010076	,062	-,06073	,00090
	Plus C	-,04367*	,010076	,001	-,07448	-,01285
	RB223615	,00408	,010076	1,000	-,02673	,03490
	RB54519	-,00542	,010076	,998	-,03623	,02540
	S. Comer	-,02633	,010076	,142	-,05715	,00448
RB54519	Plus A	-,02467	,010076	,199	-,05548	,00615
	Plus B	-,02450	,010076	,205	-,05531	,00631
	Plus C	-,03825*	,010076	,006	-,06906	-,00744
	RB223615	,00950	,010076	,964	-,02131	,04031
	RB54513	,00542	,010076	,998	-,02540	,03623
	S. Comer	-,02092	,010076	,381	-,05173	,00990
S. Comer	Plus A	-,00375	,010076	1,000	-,03456	,02706
	Plus B	-,00358	,010076	1,000	-,03440	,02723
	Plus C	-,01733	,010076	,606	-,04815	,01348
	RB223615	,03042	,010076	,055	-,00040	,06123
	RB54513	,02633	,010076	,142	-,00448	,05715
	RB54519	,02092	,010076	,381	-,00990	,05173

Basado en las medias observadas.

\*. La diferencia de medias es significativa al nivel ,05.

\*. Se ha detectado el símbolo ,05 donde se esperaba un paréntesis de cierre en el subcomando TEST.

**Apéndice 6a.** Temperatura ambiental (promedios mensuales) al interior y exterior del invernadero, según horas del día.

Meses	T° ambiente interior (°C)				T° ambiente exterior (°C)			
	Horas del día			T°	Horas del día			T°
2002	08:00	12:00	18:00	promedio	08:00	12:00	18:00	promedio
Septiembre	14,0	25,7	20,0	19,90	14,0	25,5	20,0	19,83
Octubre	13,0	20,2	18,0	17,07	13,0	20,2	18,0	17,07
Noviembre	16,3	25,5	24,3	22,00	17,8	25,0	25,5	22,75
Diciembre	15,5	29,3	27,3	24,00	18,0	29,3	28,3	25,17
<b>2003</b>								
Enero	19,4	30,8	26,0	25,40	20,0	30,4	26,4	25,60
Febrero	16,8	26,5	28,5	23,92	21,0	29,3	30,0	26,75
Marzo	14,3	24,8	21,3	20,08	15,3	25,0	22,3	20,83
Abril	14,4	20,8	16,2	17,13	14,8	22,2	16,2	17,73
Mayo	9,0	18,0	12,5	13,17	9,3	18,3	13,0	13,50
Junio	7,1	13,6	9,3	10,00	6,0	14,4	9,8	10,10
Julio	3,8	11,3	7,0	7,37	3,1	11,7	6,6	7,13

**Apéndice 6b.** Temperatura promedio mensual del sustrato, según tres horas del día.

Meses	T° del sustrato (°C)			
	Horas del día			T°
2002	08:00	12:00	18:00	promedio
Septiembre	8,0	12,0	18,0	12,7
Octubre	12,8	20,0	17,9	16,9
Noviembre	16,4	21,5	21,6	19,8
Diciembre	14,6	23,1	24,1	20,6
<b>2003</b>				
Enero	18,0	28,3	25,2	23,8
Febrero	14,5	21,3	25,0	20,3
Marzo	15,0	23,2	20,7	19,6
Abril	10,4	17,0	15,7	14,4
Mayo	8,1	14,1	11,8	11,3
Junio	5,9	10,9	8,3	8,4
Julio	3,1	8,5	4,4	5,3

