

UNIVERSIDAD DE CONCEPCIÓN
FACULTAD DE CIENCIAS FORESTALES
Departamento de Silvicultura



PROPAGACIÓN VEGETATIVA DE *Eucalyptus globulus* Labill.
A TRAVÉS DEL ENRAIZAMIENTO DE ESTACAS



ARTURO ISMAEL SANDOVAL SAAVEDRA

**MEMORIA PARA OPTAR AL
TÍTULO DE INGENIERO
FORESTAL**

Concepción - Chile

1997

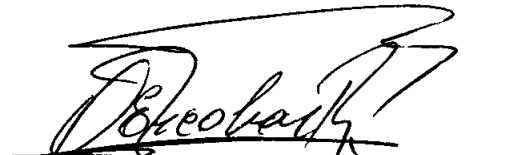


Agradezco a Dios

**a mis Padres, Hermanos, Amigos y
a todos aquellos que de una u otra
forma influyeron positivamente en
la realización de este trabajo.**

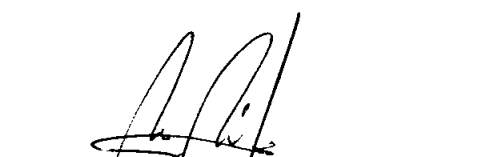
PROPAGACIÓN VEGETATIVA DE *Eucalyptus globulus* Labill. A TRAVÉS DEL ENRAIZAMIENTO DE ESTACAS

Profesor Asesor



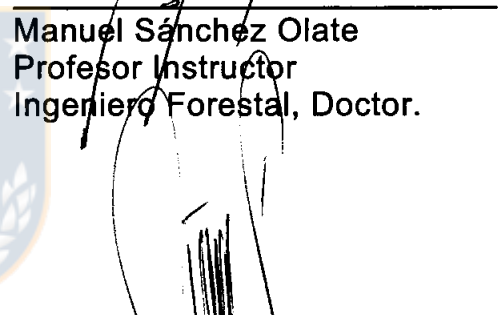
René Escobar Rodríguez
Profesor Asociado
Técnico Forestal

Profesor Asesor



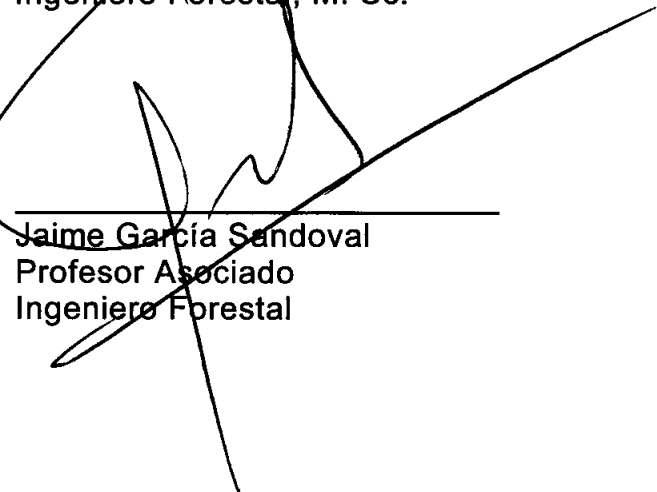
Manuel Sánchez Olate
Profesor Instructor
Ingeniero Forestal, Doctor.

Director Departamento de
Silvicultura



Eduardo Peña Fernández
Profesor Asistente
Ingeniero Forestal, M. Sc.

Decano Facultad de Ciencias
Forestales



Jaime García Sandoval
Profesor Asociado
Ingeniero Forestal

ÍNDICE DE MATERIAS

I	INTRODUCCIÓN	1
	1.1 Objetivo general	2
	1.2 Objetivos específicos	2
II	ANTECEDENTES BIBLIOGRÁFICOS	3
	2.1 Propagación vegetativa	3
	2.2 La propagación vegetativa en la producción de Eucalyptus	4
	2.3 Factores que influyen en el enraizamiento	7
	2.3.1 Juventud del material	7
	2.3.2 Condiciones ambientales	8
	2.3.3 Auxinas	8
	2.3.4 Edad del brote	9
	2.3.5 Longitud y diámetro de las estacas	9
	2.3.6 Posición de la estaca en el brote	10
	2.3.7 Influencia de las hojas	10
	2.3.8 Contenedor y sustrato	10
	2.4 Aspectos fisiológicos del enraizamiento de estacas	11
III	MATERIALES Y MÉTODO	12
	3.1 Ubicación y descripción del lugar de ensayo	12
	3.2 Material para arraigamiento	12
	3.3 Época del año	13
	3.4 Manejo de los setos	13
	3.5 Instalación de las estacas	14
	3.6 Preparación del material de ensayo	14
	3.7 Condiciones ambientales	15
	3.8 Tratamiento empleado	16
	3.9 Diseño experimental	17
	3.10 Análisis estadístico	18
IV	RESULTADOS Y DISCUSIÓN	21
	4.1 Enraizamiento	21
	4.1.1 Descripción de la muestra	21
	4.1.2 Análisis de varianza	24
	4.2 Tiempo necesario para el enraizamiento (días)	26
	4.3 Supervivencia	30
	4.4 Correlaciones	33

4.4.1	Correlación enraizamiento - tiempo de enraizamiento	33
4.4.2	Correlación enraizamiento - supervivencia	33
V	CONCLUSIONES	35
VI	SUMMARY	37
	RESUMEN	38
VII	BIBLIOGRAFÍA	39
ANEXO 1.	Test No Paramétrico de KRUSKAL-WALLIS	43
ANEXO 2.	Test de Comparaciones Múltiples de WILCOXON-WILCOX	45
APÉNDICES		
I	Solución base utilizada en la fertilización de los setos	47
II	Distribución espacial de las 45 familias dentro de un bloque	48
III	Análisis de varianza para el Enraizamiento	49
IV	Comparaciones múltiples para el tiempo necesario para el enraizamiento	50

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla N°		Página
<u>En el Texto</u>		
1	Procedencia, número de familias y cantidad de individuos utilizados en el estudio.	13
2	Temperatura del sustrato (Ts), del ambiente (Ta) y humedad relativa del aire (H.R.) para las estacas durante el ensayo.	15
3	Condiciones ambientales de temperatura (Ta) y humedad relativa (HR) para los setos.	16
4	Descripción de la muestra por procedencias y total para la variable enraizamiento (%).	21
5	Resultados de enraizamiento por familia, datos sin transformar, promedios y variación.	22
6	Comparaciones múltiples para la variable enraizamiento. Test de Waller-Duncan.	25
7	Tiempo necesario para el enraizamiento (días) de las 35 familias con respuesta.	27
8	Tiempo necesario para el enraizamiento (días) según procedencia.	28
9	Separación de medias para la variable tiempo necesario para el enraizamiento (días). Test de Wilcoxon-Wilcox.	29
10	Descripción resumida de la supervivencia.	30
11	Resultados de la supervivencia por familia, evaluación cada 10 días.	31
<u>En el Apéndice</u>		
1A	Análisis de varianza para el enraizamiento.	49

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura N°		Página
1	Ciclo de selección y propagación asociado a un programa de mejora que en una de sus fases contempla a la Propagación Vegetativa.	6
2	Gráfico de cajas para la variable enraizamiento, organizado por familias.	23
3	Gráfico de cajas para la variable tiempo necesario para el enraizamiento (días), organizado por familias.	28
4	Supervivencia (%) por familia a los 60 días, ordenadas de mayor a menor.	32
5	Dispersión de tasa promedio de enraizamiento y el tiempo (días) necesario para que se produzca.	34
6	Dispersión del enraizamiento promedio familiar y la supervivencia (%) de las estacas.	34

I. INTRODUCCIÓN.

La propagación vegetativa consiste en obtener una nueva planta a partir de porciones vegetativas de una planta original, esto es posible debido a la totipotencia celular (Zobel y Talbert, 1988; Nel, 1995). La totipotencia consiste en que cada célula de una planta contiene toda la información genética necesaria para regenerar al organismo entero (Nel, 1995).

Según Pierce (1995), los métodos de propagación vegetativa se pueden agrupar dentro de cuatro categorías; injertos, acodos aéreos, enraizamiento de estacas y micropropagación. Sin embargo, la principal técnica de propagación vegetativa que han adoptado las empresas forestales es el enraizamiento de estacas (Chaperon, 1987). Actualmente, en el mercado se producen millones de plantas por el sistema de estaquillado, principalmente especies subtropicales de fácil enraizamiento como *Eucalyptus grandis*, y una menor proporción, aunque creciente, de especies de zonas templadas como *Eucalyptus globulus* (Chaperon, 1987; Gutiérrez *et al*, 1992).

Una de las mayores dificultades de la propagación por estacas de *Eucalyptus*, es que se ha determinado que existen grandes diferencias en la capacidad de enraizamiento principalmente a nivel de especie, procedencia, familia e individuo (Chaperon, 1987; Sabja *et al*, 1992; Ipinza y Gutiérrez, 1992).

Por estas diferencias en el potencial de enraizamiento, es que este estudio evalúa la capacidad rizogénica de 45 árboles plus de *Eucalyptus globulus*, los cuales están representados por sus progenies (familias), seleccionados

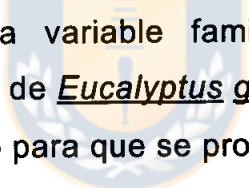
en una amplia zona geográfica de Chile.

De esta manera, los objetivos perseguidos por este ensayo son los siguientes;

1.1 Objetivo general.

Evaluar la propagación vegetativa de *Eucalyptus globulus*, por medio de estacas provenientes de brotes de setos, en condiciones ambientales controladas y tratadas con Ácido β -Indolbutírico (AIB).

1.2 Objetivos específicos.

- 
- ⇒ Evaluar el efecto de la variable familia, sobre la capacidad de enraizamiento de estacas de *Eucalyptus globulus*.
 - ⇒ Medir el tiempo necesario para que se produzca la rizogénesis.
 - ⇒ Evaluar la evolución de la tasa de supervivencia de las estacas.
 - ⇒ Definir la relación que pudiera existir entre;
 - La tasa de enraizamiento y la variable supervivencia de las estacas.
 - La tasa de enraizamiento y la variable velocidad de enraizamiento.

II. ANTECEDENTES BIBLIOGRÁFICOS.

2.1 Propagación vegetativa.

La propagación vegetativa es la obtención de una nueva planta desde partes vegetativas de una planta original, esto es posible debido a la *totipotencialidad* celular. La totipotencialidad se refiere a que cada célula de la planta contiene la información genética necesaria para regenerar al organismo entero (Nel, 1995).

Nel (1995) define algunos términos relacionados con la propagación vegetativa y que son necesarios de precisar:

- **Clon** : La propagación vegetativa es asexual porque involucra divisiones celulares mitóticas que duplican el genotipo de la planta. Tal duplicación se conoce como clonación, y la población de plantas genéticamente idénticas que se originan se conoce como clon.
- **Ortet** : Es el árbol ancestro original de un clon propagado vegetativamente.
- **Rameto** : Es la descendencia de un ortet, o un miembro individual de un clon.

Según Pierce (1995), los métodos de propagación vegetativa se pueden agrupar dentro de cuatro categorías, las cuales define Nel (1995) y se detallan a continuación:

- **Injerto** : Es la conexión de dos partes de plantas vivas, de tal forma de generar una unión que permita que ellas crezcan y se desarrollen como una planta.
- **Acodo aéreo** : Es un método de propagación que consiste en inducir las raíces adventicias de un tallo que permanece unido a la planta madre. El tallo es separado cuando ha generado sus propias raíces.
- **Enraizamiento de estacas** : Es la propagación por estacas, porción de tallo, hoja o raíz cortado desde la planta madre, luego esta sección de planta se coloca bajo condiciones ambientales favorables y se le induce a formar raíces y brotes.
- **Micropropagación** : involucra la propagación de plantas desde muchas partes pequeñas de plantas, tejidos o células que crecen en un medio acéptico en tubos de ensayo u otro contenedor en donde el ambiente y la nutrición son extremadamente controladas.

2.2 La propagación vegetativa en la producción de *Eucalyptus*.

Las especies del género *Eucalyptus* presentan rápido crecimiento y una madera densa que las hace muy atractivas para el sector productivo forestal. Por otra parte, en estas especies resulta notable la gran variabilidad intra e interespecífica que presentan en características tales como producción de biomasa, tasa de crecimiento, resistencia a enfermedades, heladas y déficit hídrico entre otras. Es por ello, que su multiplicación vegetativa presenta muchas ventajas en relación a la propagación por semillas, especialmente en aspectos de mejora genética, pues se pueden transmitir características que por su baja heredabilidad no

se traspasan eficientemente a la descendencia por vía sexual (Van Wyk, 1985; Campinhos, 1987; Ipinza y Gutiérrez, 1992).

Para los eucaliptos, se han probado la mayoría de los métodos de multiplicación vegetativa, pero el más difundido es el enraizamiento de estacas, especialmente en programas de mejora para aumentar la producción de pulpa. En Aracruz, Brasil, usando esta técnica se han propagado clones que han permitido establecer plantaciones uniformes, con excelente poda natural, contenidos de celulosa superiores al 50% e incrementos medios anuales por sobre los 70 m³/ha/año, características que en conjunto han significado un aumento en el rendimiento de los bosques del orden del 112 % (Campinhos, 1987).

La principal ventaja de la propagación vegetativa se encuentra en el campo de la Mejora Genética, debido a que permite capturar y transferir al nuevo árbol todo el potencial genético del progenitor (Zobel *et al*, 1987; Zobel y Talbert, 1988; Sachs *et al*, 1988), ciclo que se representa en la *FIGURA 1*. Por lo que se pueden lograr ganancias genéticas en características con un alto componente de variación genética no aditiva, como el crecimiento, peso seco, contenido de celulosa y producción de pulpa.

Además, Van Wyk (1995) menciona otras ventajas; como la mayor uniformidad de los árboles, la factibilidad de preservar genotipos y combinaciones de genes, facilita un efectivo control de daños y posibilita la eliminación de algunos defectos.

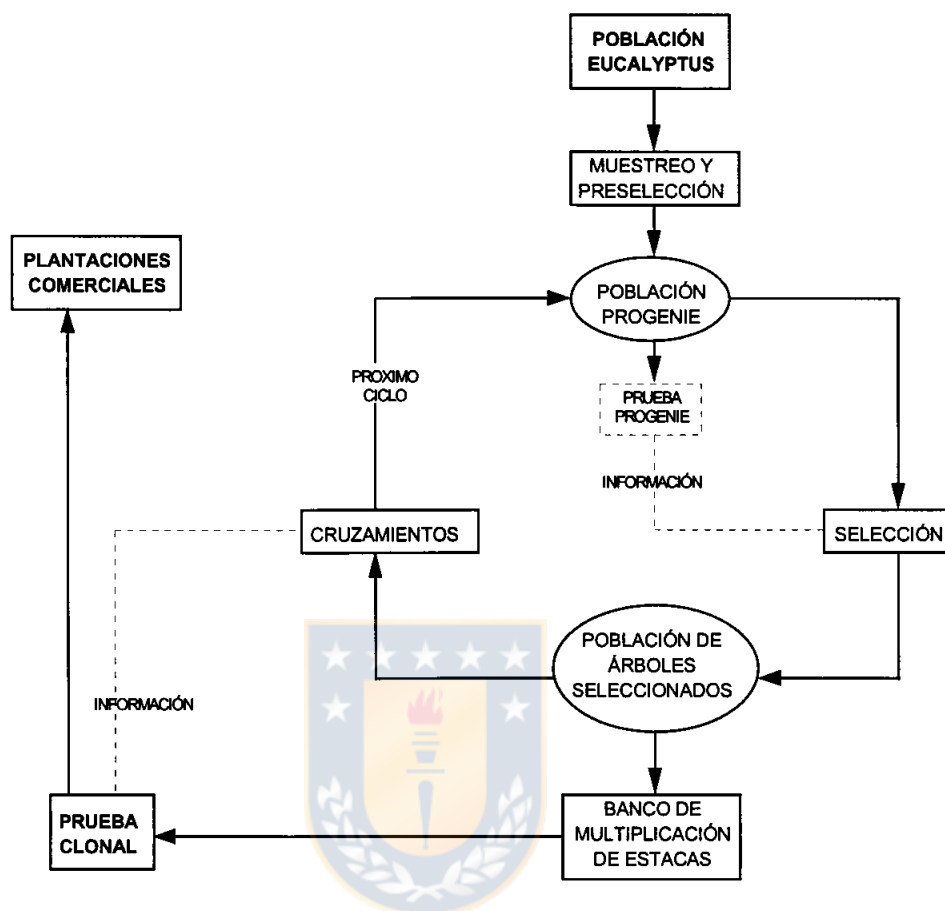


FIGURA 1. Ciclo de selección y propagación asociado a un Programa de Mejora que en una de sus fases contempla a la Propagación Vegetativa. Fuente : Gutiérrez *et al*, 1992.

Por otro lado, la principal desventaja radica en la dificultad de propagar árboles fisiológicamente maduros. En este sentido, cuando los posibles árboles padres poseen la edad suficiente para la selección, normalmente ya han disminuído su capacidad natural de enraizamiento (Hartney, 1980), lo que obliga a rejuvenecer el material, aumentando el gasto en tiempo y recurso.

Se menciona que en ocasiones los resultados obtenidos por enraizamiento

de estacas han desarrollado un sistema radicular desbalanceado y superficial, que los hace susceptibles a caídas por el viento (Sachs *et al*, 1988).

También existen desventajas a nivel de población, puesto que un rodal altamente productivo se puede obtener propagando vegetativamente al clon de mayor rendimiento. Sin embargo, si la variabilidad genética es restringida a pocos clones, el bosque puede ser muy vulnerable a pérdidas masivas debido a insectos, enfermedades u otros cambios adversos en el medio ambiente (Shimizu, 1988).

2.3 Factores que influyen en el enraizamiento.

El enraizamiento de estacas depende de múltiples factores, por lo que no existen recomendaciones precisas sobre cual es la mejor técnica para efectuarlo (Hartney, 1980). Entre estos factores destacan, principalmente, la juventud del material utilizado, las condiciones ambientales de enraizamiento, los tratamientos con auxinas, la edad del brote, la longitud y diámetro de las estacas, la posición de la estaca en el brote, la influencia de las hojas y por último el tipo de contenedor y sustrato a utilizar.

2.3.1 Juventud del material. Según Durand-Creswell *et al* (1982) citado por Ipinza y Gutiérrez (1992) se ha probado que las estacas confeccionadas con brotes de árboles de edad superior a 4 ó 5 años difícilmente forman raíz. Por lo mismo se ha utilizado con éxito la manipulación del estado juvenil a través del uso de retoños de tocón (Hartney, 1980), plantas jóvenes (Hartney, 1980; Zobel y Talbert, 1988), setos (Zobel y Talbert, 1988), brotes desarrollados en púas de injertos

(Cauvin, 1982) y brotes desarrollados en estacas previamente enraizadas (Chaperon, 1983).

2.3.2 Condiciones ambientales. Existe consenso entre múltiples autores en que éstas deben considerar una alta humedad relativa del aire que rodea a las estacas y condiciones cálidas en la base de éstas. Este gradiente de temperatura y humedad minimiza la transpiración y el stress hídrico en la parte superior de la estaca (Marais, 1988). Por otra parte, la utilización de aspersiones o nebulizaciones intermitentes, que mantengan constantemente humedecida la superficie de las hojas, son esenciales para un enraizamiento exitoso (Chaperon, 1983; Marais, 1988).

2.3.3 Auxinas. Se ha demostrado que las auxinas se requieren para la inducción de callo en muchas especies. Según Minocha (1987) citada por Ipinza y Gutiérrez (1992), en algunas plantas, concentraciones altas de auxinas inducen a la formación de raíces. Sin embargo, éstas son muy poco efectivas para superar las limitaciones impuestas por factores tales como la edad de los árboles, el tipo de estacas, el estado nutricional de la planta, etc. (Bachelard y Stowe, 1963).

En *Eucalyptus* se pueden obtener buenos resultados tratando las estacas con ácido naftalenacético (ANA) o ácido indolbutírico (AIB) (Nienstaedt, *et al*, 1958). Generalmente se utiliza AIB diluido y aplicado con polvo talco (Aguirre y Arce, 1988; Sabja *et al*, 1992) y en concentraciones que generalmente no exceden las 10.000 ppm. También es frecuente remojar las estaquillas en soluciones líquidas de AIB, en concentraciones de 100 a 200 ppm por 24 horas (Sabja *et al*, 1992).

La concentración efectiva para la rizogénesis depende principalmente de

la especie, estación y condiciones de crecimiento de la planta madre (Potts y Potts, 1988), pero en última instancia está determinada genotípicamente.

Por último, Pardos ⁽¹⁾ afirma que la hormona no es condicionante del enraizamiento, lo que hace es potenciarlo, homogeniza el sistema radicular y disminuye el tiempo requerido para su formación, lo que también concluyó Muñoz (1997), quien indica que para estaquillas de *Eucalyptus globulus* la concentración de AIB no afecta al porcentaje de enraizamiento, pero sí a la cantidad de raíces formadas.

2.3.4 Edad del brote. Si los brotes se cortan al inicio de la etapa de crecimiento, el número de estacas es bajo, en cambio si se cortan muy tarde, las estacas estarán demasiado lignificadas y su capacidad de enraizar disminuye (Zobel *et al*, 1987).

En opinión de Soria ⁽²⁾, son deseables los brotes cuando están en pleno crecimiento, con alrededor de 45 cm de largo, de los cuales se utiliza la sección media, eliminando la base lignificada y también la sección apical que es suculenta.

2.3.5 Longitud y diámetro de las estacas. Existe relación entre el tamaño de la estaca y la capacidad de ésta para formar raíces. En eucaliptos el largo de las estacas varía entre 3 y 20 cms, Chaperon (1983) define como longitud mínima 5 cms y que el diámetro no debe ser inferior a 3 mm.

⁽¹⁾ Comunicación Personal, Dr. José Alberto Pardos, profesor de la cátedra de Fisiología Vegetal, carrera de Ingeniería de Montes de la Universidad Técnica de Madrid. Madrid, España, 1995.

⁽²⁾ Comunicación Personal, Francisco Soria Pastor, Ingeniero de Montes, responsable de la producción de estacas del Centro de Investigación Forestal de ENCE. Huelva, España, 1995.

2.3.6 Posición de la estaca en el brote. En general las estacas basales enraizan mejor que las apicales e intermedias, esto debido al estado suculento de los tejidos apicales y también al aumento de la concentración de citoquininas hacia el ápice (Chaperon, 1983).

2.3.7 Influencia de las hojas. Hartney (1980) indica que para que se produzca enraizamiento es indispensable que las estacas tengan hojas. Chaperon (1983) recomienda estacas con 4 hojas como mínimo. También se usan estacas con uno o dos pares de hojas, recortando las más grandes para evitar la sobreposición (Campinhos e Ikemori, 1983). Sin embargo, Muñoz (1997) concluyó que el número de pares de hojas no afectan el porcentaje de enraizamiento de estacas en *Eucalyptus globulus*, pero estacas con 4 pares de hojas originan plantas con mayor peso seco, volumen radicular y cantidad de raíces que estacas con 2 pares de hojas.

2.3.8 Contenedor y sustrato. Existen diversos sustratos posibles, los que generalmente deben cumplir con tener buen drenaje y aireación, escaso contenido de materia orgánica y buena retención de agua (Chaperon, 1983). Por otro lado, el contenedor debe promover la formación de un buen sistema radicular, evitando daño mecánico y deshidratación de la raíz. Además, en opinión de Sousa ⁽³⁾, para fines de manejo y manipulación de las estacas enraizadas es aconsejable utilizar bandejas con tubetes individuales.

⁽³⁾ Comunicación Personal, Rui Manuel Sousa, especialista en propagación de plantas de Soporcel. Departamento de Investigación Forestal de Torre Bela. Alcoentre, Portugal. 1995.

2.4 Aspectos fisiológicos del enraizamiento de estacas.

El proceso biológico de iniciación de raíces desde tejidos del tallo es poco conocido, debido a que los reguladores presentan un amplio rango de efectos sobre el metabolismo, crecimiento y diferenciación (Hartney, 1980).

Rauter (1983), destaca la importancia de una adecuada reserva de carbohidratos en equilibrio con una relación alta C:N. Afirma que las estacas deben tener reservas suficientes de nutrientes para sobrevivir al período de enraizamiento, tiempo durante el cual el aporte de carbohidratos fotosintetizados es insuficiente.

Además del nivel de reservas de nutrientes hay otros factores fisiológicos, como la presencia de inhibidores, que pueden disminuir el enraizamiento, los niveles endógenos de estos inhibidores aumentan con la edad del material (Hartney, 1980).

Nel (1995) menciona la influencia positiva sobre el enraizamiento de algunas hormonas (auxinas, citoquininas y etileno), y del efecto inhibitorio de otras como las giberelinas y el ácido abscísico. También alude a ciertos co-factores como el rizocalino que pueden ser sinérgico con las auxinas.

III. MATERIALES Y MÉTODO.

3.1 Ubicación y descripción del lugar de ensayo.

El ensayo se estableció en dos invernaderos del Programa de Genética de Forestal Angol Ltda, ubicados en el Vivero Pisagua, localidad de Santa Bárbara.

Para el estudio se destinaron dos invernaderos, uno para el desarrollo y formación de los setos productores de estacas y otro para la propagación de éstas.

3.2 Material para enraizamiento.

El trabajo experimental consistió en enraizar estacas confeccionadas a partir de brotes de plantas de *Eucalyptus* con un año en vivero, producidas en contenedor. Estas plantas se cortaron a 10 cm sobre el nivel del suelo para inducir en ellas la formación de brotes, formando así la planta madre o seto, posteriormente se realizaron continuas selecciones de los mejores vástagos de cada seto, los cuales fueron utilizados para instalar el ensayo.

La fuente de material consta de 45 árboles seleccionados dentro del Programa de Mejoramiento Genético para *Eucalyptus globulus* en Chile, cada árbol está representado por su familia o progenie, que a su vez contempla 5 individuos. Estos 45 árboles representan a una amplia distribución geográfica de los *Eucalyptus* en nuestro país (TABLA 1).

TABLA 1. PROCEDENCIA, NÚMERO DE FAMILIAS Y CANTIDAD DE INDIVIDUOS UTILIZADOS EN EL ESTUDIO.

ORIGEN	FAMILIAS	INDIVIDUOS (*)
- Precordillera (VIII-IX Región)	15	75
- Depresión intermedia (VIII-IX Región)	10	50
- Zona sur (Valdivia)	5	25
- Zona costera (Arauco)	15	75
TOTAL	45	225

(*) Contempla 5 individuos por familia

3.3 Época del año.

La semilla proveniente de los 45 árboles plus fué sembrada en enero de 1993, se viverizaron en contenedor durante 8 meses (hasta septiembre), luego fueron transplantadas a macetas. Posteriormente, las plantas fueron manejadas (fertilización, riego y podas) para formar el seto productor de material para estaquillado.

Las estacas fueron colectadas a partir del 20 de julio hasta mediados de agosto de 1994, puesto que el criterio adoptado fue seleccionar las estacas de cada familia en forma continua durante este período, asegurando que las familias estén representadas por estacas lo más homogéneas posibles.

3.4 Manejo de los setos.

El manejo de los setos consiste en la aplicación de un programa de fertilización, riego y control fitosanitario, de tal forma de producir brotes

sanos, sin deficiencias nutricionales (especialmente un alto contenido de N foliar, superior al 3%) y con internudos largos. El programa de fertilización se basa en la aplicación de una mezcla de macro y microelementos detallados en el *APÉNDICE I*.

3.5 Instalación de las estacas.

Las etapas de instalación de las estacas son las siguientes: primero se recolectaron los brotes desde los setos, los cuales se trataron con una solución fungicida para el breve traslado al invernadero, luego se prepararon las estacas y fueron nuevamente descontaminadas con una inmersión en fungicida durante 10 a 15 minutos. Posteriormente, a la base de las estacas se les aplicó ácido cítrico para evitar que sufrieran oxidación y AIB (auxina) diluída en talco para mejorar el enraizamiento. Finalmente, las estacas se plantaron en tubetes plásticos llenos con sustrato y las zonas aéreas podadas fueron selladas con un fungicida látex (Podexal Super).

3.6 Preparación del material de ensayo.

Los vástagos fueron seleccionados, eliminando los de tallo lignificado o muy succulento, y se obtuvo una estaca desde el tercio basal. Cada estaca elegida debía tener dos pares de hojas (se removió un par) y un diámetro de tallo entre 3 a 5 mm. Además, se utilizaron tallos con sección cuadrada.

Las estacas se extrajeron desde abajo del vástago, cortando la base (corte en bisel) bajo un par de hojas, las que luego fueron removidas.

Posteriormente se eliminó alrededor del 60% de la superficie foliar del par siguiente y, finalmente, se cortó sobre el par de hojas podadas.

3.7 Condiciones ambientales.

Las condiciones ambientales, tanto para la propagación de las estacas como para el desarrollo de los setos, fueron dadas por un ambiente de invernadero en el que es posible controlar temperatura ambiental, humedad relativa del aire, riego e intensidad lumínica.

Al interior del invernadero de propagación de estacas se mantuvo una diferencia de temperatura entre el sustrato (promedio de 24.2 °C) y el ambiente (promedio de 22.2°C) de 2.2°C y 1.7°C, lo que se detalla en la **TABLA 2**.

TABLA 2. TEMPERATURA DEL SUSTRATO (T_s), DEL AMBIENTE (T_a) Y HUMEDAD RELATIVA DEL AIRE (H.R.) PARA LAS ESTACAS DURANTE EL ENSAYO.

Mes	Temperatura (°C)			H.R. (%)
	T_s	T_a	$(T_s - T_a)$	
- Julio	23.8	21.6	2.2	76.1
- Agosto	24.6	22.9	1.7	68.7
Promedio	24.2	22.2	2.0	72.4

El riego se aplicó automáticamente por medio de un sistema *Mist A Matic* con microaspersores, con lo que además de bajar la temperatura del aire, se favorece un aumento en la humedad relativa ambiental, que en promedio llegó al 72.4% (**TABLA 2**).

La temperatura del sustrato se logra en *camas calientes* que funcionan con resistencias eléctricas, éstas son controladas por un termostato que regula la temperatura mínima de funcionamiento.

Los setos productores del material para estaquillado se mantuvieron en un invernadero bajo condiciones menos controladas de temperatura ambiental y humedad relativa del aire. Las condiciones promedio fueron de 20.0°C de temperatura y una humedad relativa del aire del 58.7% (TABLA 3).

TABLA 3. CONDICIONES AMBIENTALES DE TEMPERATURA (Ta) Y HUMEDAD RELATIVA (HR) PARA LOS SETOS.

Mes	Ta (°C)	H.R. (%)
- Septiembre 1993	20.1	52.6
- Octubre	19.9	57.0
- Noviembre	21.2	54.5
- Diciembre	23.5	51.0
- Enero 1994	25.2	49.4
- Febrero	24.5	50.1
- Marzo	22.3	55.2
- Abril	19.8	60.1
- Mayo	18.7	72.3
- Junio	15.0	78.4
- Julio	13.3	71.9
- Agosto	16.0	52.2
Promedio	20.0	58.7

3.8 Tratamiento empleado.

Sustrato : - Contenido : Turba + Arena (1:1 / v:v)

- Electroconductividad : 80 $\mu\text{S}/\text{cm}$
- pH : 6.4
- Densidad húmeda : 1.08 g/cm^3
- Densidad seca : 0.61 g/cm^3

Bandeja : - Lámina termoformada
- 106 cavidades independientes
- 96 cm^3 de volumen cada tubete

Fitohormona : Ácido β -Indolbutírico (AIB) diluido en polvo talco a 8.000 ppm

Fungicida : Captan (0.4 g/l) + Benlate (0.4 g/l)

Antioxidante: Ácido cítrico (al 1%)

Sellante : Podexal Super (látex)

3.9 Diseño experimental.

La distribución de las estacas dentro del invernadero se efectuó de acuerdo al diseño experimental de bloques completos al azar, donde la parcela está constituida por la familia. Se consideraron 5 bloques (cada bloque corresponde a una cama caliente distinta), anticipando una posible diferencia en las condiciones ambientales dentro del invernadero, de tal forma que las unidades dentro de un bloque sean tan uniformes como sea posible, de modo que las diferencias observadas se deban en gran medida a las diferencias entre las familias.

Cada familia está representada por 5 individuos, de cada uno se extraen 5 estacas homogéneas, lo que genera un total de 25 estacas por cada familia, lo que se resume a continuación:

- N° Familias : 45
- N° Bloques : 5
- N° Individuos/familia : 5
- N° Estacas en el ensayo : 1.125

Asumiendo que existen diferencias en la capacidad de enraizamiento de cada individuo en la familia, se colocó una estaca de cada individuo en cada bloque, de tal forma de evitar que las posibles diferencias entre bloques sea causa de las diferencias entre los individuos. La distribución espacial de los tratamientos se grafica en el *APÉNDICE II*.

Por último, el modelo utilizado es el siguiente;

$$Y_{ijk} = \mu + F_i + B_j + BF_{ij} + e_{ijk}$$

Donde;

- Y_{ijk} k ésima estaca en el j ésimo bloque de la i ésima familia
- μ Efecto medio
- F_i Efecto fijo de la i ésima familia
- B_j Efecto fijo del j ésimo bloque
- BF_{ij} Efecto de la interacción entre el bloque y la familia
- e_{ijk} Error con distribución normal, $E(e_{ijk}) = 0$ y $Var(e_{ijk}) = \sigma_e^2$

3.10 Análisis estadístico.

Se realizó un análisis descriptivo y estadístico de los resultados obtenidos

en el ensayo, de tal forma de observar el nivel de variación de los datos y también determinar la existencia de diferencias estadísticas significativas entre las familias, para las variables: enraizamiento, tiempo necesario para que se produzca enraizamiento (días) y supervivencia.

Los resultados fueron sometidos a un análisis estadístico paramétrico y no paramétrico, dependiendo de las características y de la forma de distribución de los mismos.

- **Enraizamiento** ; Debido a que es una variable expresada en porcentaje tiene una distribución binomial, por lo que previo al análisis de varianza fue necesario una transformación de los datos (Little y Hills, 1976), por medio de una función Angular o Arcoseno ($Arc\ sen\ \sqrt{p}$, en donde p es el porcentaje de enraizamiento). El análisis de varianza se fijó con un nivel de confianza del 95 % ($\alpha=0.05$).

Además, para los datos transformados se aplicó una prueba de normalidad a través del procedimiento univariado (Manual SAS, 1987), a través del Test Shapiro-Wilk, lo que con un nivel de confianza al 95% confirmó la existencia de normalidad. Además, la homogeneidad de varianzas se comprobó mediante el Test de Bartlett ($\alpha=0.05$). Mientras que para la comparación de medias se utilizó el Test de Waller-Duncan ($\alpha=0.05$).

- **Tiempo necesario para el enraizamiento (días)**; Debido a que la variable *días* transcurridos desde la instalación de las estacas hasta la emergencia de la radícula en la base del tubete es discreta, para determinar la existencia de diferencias entre las familias, que presentaron enraizamiento, se realizó un análisis no paramétrico a una vía. Para ello,

se aplicó el test de Kruskal-Wallis, el cual es descrito en el *ANEXO 1*. Posteriormente, para las comparaciones múltiples entre las familias se realizó el Test de Wilcoxon-Wilcox detallado en el *ANEXO 2*. El nivel de confianza aplicado es del 95 % ($\alpha=0.05$).

- **Supervivencia** ; Al igual que en la variable anterior, el porcentaje de supervivencia por familia a los 60 días no presenta distribución normal, para determinar la igualdad de medias entre las familias se aplica un análisis no paramétrico a una vía. Para este análisis se aplicó el Test de Kruskal-Wallis (*ANEXO 1*) y posteriormente para estimar las familias con mayor tasa de supervivencia se realiza el Test de Wilcoxon-Wilcox (*ANEXO 2*), ambas pruebas se utilizaron con un nivel de confianza del 95 % ($\alpha=0.05$).

- **Correlaciones** ; Por último, el análisis estadístico también contempla el estudio de correlaciones entre la variable tasa de enraizamiento promedio por familia y las variables supervivencia y tiempo necesario para que se produzca rizogénesis.

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.

4.1 Enraizamiento.

4.1.1 Descripción de la muestra. El análisis descriptivo indica que en promedio las procedencias presentaron un 12.6 % de enraizamiento (*TABLA 4*), siendo las procedencias de Valdivia y Precordillera las que mostraron las menores tasas de enraizamiento (10.4 % y 10.9 % respectivamente), posteriormente la procedencia de la Costa de Arauco presentó un 13,1% y por último, la procedencia con mejor tasa de enraizamiento (15.6 %) y el menor coeficiente de variación (90.8 %), resultó ser la de Depresión Intermedia.

TABLA 4. DESCRIPCIÓN DE LA MUESTRA POR PROCEDENCIAS Y TOTAL PARA LA VARIABLE ENRAIZAMIENTO (%).

	Procedencias				Total
	Precordillera	Depresión intermedia	Valdivia	Costa Arauco	
Observaciones	75	50	25	75	225
Mínimo	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Media	10.93	15.60	10.40	13.07	12.62
Máximo	40.00	40.00	40.00	40.00	40.00
Desv. Estándard	13.67	14.16	11.72	14.52	13.91

Al analizar los datos resumidos (*TABLA 5*), se desprende que hay un grupo de 11 familias que presentan un porcentaje de enraizamiento deseable, es decir, de más de un 24 %, siendo la familia 31 (procedencia de la Costa de Arauco) la que presentó el más alto porcentaje de

enraizamiento, con un 36 %. Luego, las familias 5 y 16 presentaron un 32 %, mientras que las familias 3, 17, 34 y 37 también destacaron con un 28% y por último, las familias 2, 4, 6 y 18 obtuvieron un 24 % de enraizamiento.

TABLA 5. RESULTADOS DE ENRAIZAMIENTO POR FAMILIA, DATOS SIN TRANSFORMAR, PROMEDIOS Y VARIACIÓN.

Familia	N	Enraizamiento Promedio	Enraizamiento Desv. Estándar	Coficiente de Variación (%)
1	5	12.00	10.95	91.29
2	5	24.00	8.94	37.27
3	5	28.00	10.95	39.12
4	5	24.00	8.94	37.27
5	5	32.00	10.95	34.23
6	5	24.00	8.94	37.27
7	5	8.00	10.95	136.93
8	5	0.00	0.00	
9	5	0.00	0.00	
10	5	4.00	8.94	223.61
11	5	0.00	0.00	
12	5	4.00	8.94	223.61
13	5	4.00	8.94	223.61
14	5	0.00	0.00	
15	5	0.00	0.00	
16	5	32.00	10.95	34.23
17	5	28.00	10.95	39.12
18	5	24.00	8.94	37.27
19	5	16.00	16.73	104.58
20	5	16.00	8.94	55.90
21	5	16.00	16.73	104.58
22	5	8.00	10.95	136.93
23	5	8.00	10.95	136.93
24	5	8.00	10.95	136.93
25	5	0.00	0.00	
26	5	4.00	8.94	223.61
27	5	16.00	8.94	55.90
28	5	4.00	8.94	223.61
29	5	12.00	10.95	91.29
30	5	16.00	16.73	104.58
31	5	36.00	8.94	24.85
32	5	16.00	8.94	55.90
33	5	12.00	10.95	91.29
34	5	28.00	10.95	39.12
35	5	12.00	17.89	149.07
36	5	20.00	14.14	70.71
37	5	28.00	10.95	39.12
38	5	16.00	8.94	55.90
39	5	12.00	10.95	91.29
40	5	8.00	17.89	223.61
41	5	8.00	10.95	136.93
42	5	0.00	0.00	
43	5	0.00	0.00	
44	5	0.00	0.00	
45	5	0.00	0.00	
Total/Promedio	225	12.62	13.91	110.22

Otra situación que se desprende de los resultados expuestos (*TABLA 5*) es que existe una gran variabilidad en la capacidad de enraizamiento de las familias, lo que se esperaba que ocurriera, dado a que la mayoría de los estudios realizados concluyen que el enraizamiento de estacas está condicionado fuertemente por un factor genético (Paton, 1983).

Por otro lado, también existe variación dentro de la familia, esto queda de manifiesto en el Gráfico de Caja que muestra la *FIGURA 2*, el que representa los amplios intervalos de confianza dentro de algunas familias, lo que indicaría que la capacidad de enraizamiento también difiere dentro de ellas. Además, también se desprende que las familias de mayor tasa de enraizamiento (31, 5, 16, 3, 17, 34 y 37) fueron las que presentaron los menores Coeficientes de Variación (siempre menor al 39.12 %).

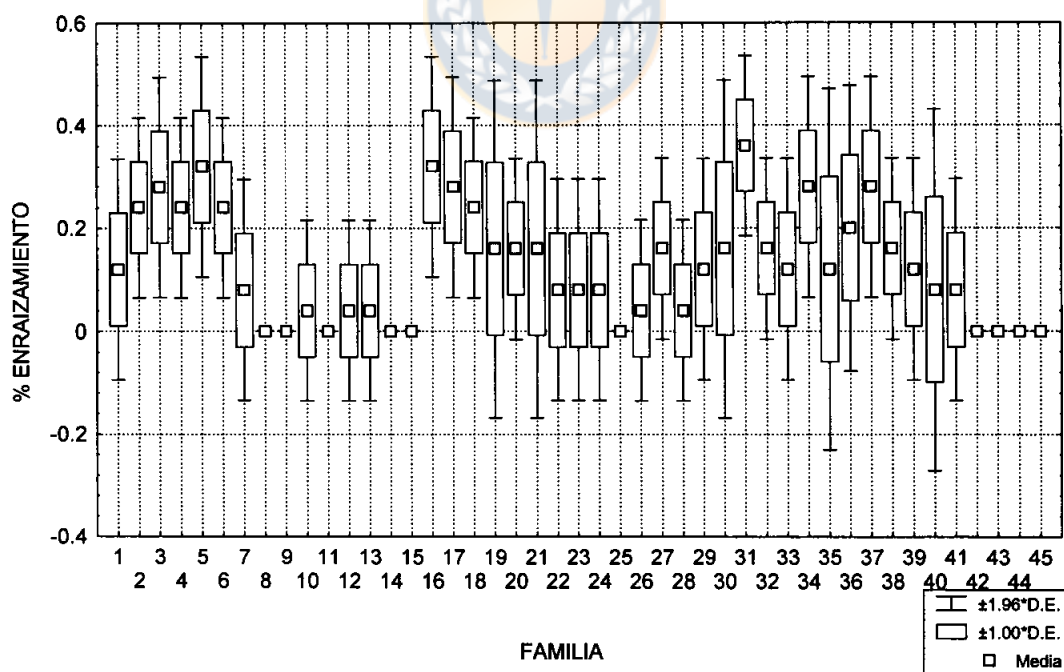


FIGURA 2. Gráfico de cajas para la variable enraizamiento, organizado por familias. En donde :

- 1 D.E. : Una vez la desviación estándar, intervalo que contiene al

68 % de las observaciones.

- 1.96 D.E. : 1.96 veces la desviación estándar, intervalo que contiene al 95 % de las observaciones.

4.1.2 Análisis de varianza. Según el Análisis de Varianza (*APÉNDICE III*), existen diferencias altamente significativas, en la capacidad de enraizamiento entre las 45 familias ensayadas, lo que confirma el hecho de que el porcentaje de enraizamiento de estacas de *Eucalyptus* está condicionado principalmente por el factor genético.

El porcentaje de enraizamiento obtenido con la totalidad del material ensayado (1.125 estacas), a los 60 días, alcanza al 12,6 %. Pero este porcentaje presenta una clara tendencia a concentrarse en familias específicas. Es así, como a nivel de familias se obtuvieron porcentajes de enraizamiento de hasta un 36% (*TABLA 5*) y a nivel individual de hasta el 80% (individuo 1 de la familia 31).

El análisis de varianza no arrojó diferencias significativas entre los bloques, esto puede atribuirse a que no se generaron grandes diferencias en el ambiente al interior del invernadero (riego, temperatura, luz y aireación, entre otros).

El test de comparaciones múltiples genera siete grupos de familias (*TABLA 6*), observándose que existen 12 familias (26.7% del total) con una tasa de enraizamiento superior aunque no significativamente distinta entre ellas. Estas familias son la 31, 16, 5, 34, 17, 3, 37, 6, 4, 18, 2 y 36, con las cuales es posible iniciar un programa intensivo de enraizamiento.

TABLA 6. COMPARACIONES MÚLTIPLES PARA LA VARIABLE ENRAIZAMIENTO. TEST DE WALLER-DUNCAN (Medias con la misma letra no son significativamente diferentes, $\alpha=0.05$).

Familia	Promedio	N	Grupo de Waller
31	.641	5	A
16	.596	5	A
5	.596	5	AB
34	.552	5	ABC
17	.552	5	ABC
3	.552	5	ABC
37	.552	5	ABC
6	.508	5	ABCD
4	.508	5	ABCD
18	.508	5	ABCD
2	.508	5	ABCD
36	.415	5	ABCDE
27	.371	5	BCDE
32	.371	5	BCDE
38	.371	5	BCDE
20	.371	5	BCDE
21	.322	5	CDEF
19	.322	5	CDEF
30	.322	5	CDEF
1	.278	5	DEF
39	.278	5	DEF
33	.278	5	DEF
29	.278	5	DEF
35	.230	5	EFG
24	.185	5	EFG
22	.185	5	EFG
23	.185	5	EFG
41	.185	5	EFG
7	.185	5	EFG
40	.137	5	FG
10	.093	5	FG
12	.093	5	FG
13	.093	5	FG
26	.093	5	FG
28	.093	5	FG
11	.000	5	G
25	.000	5	G
14	.000	5	G
15	.000	5	G
8	.000	5	G
9	.000	5	G
42	.000	5	G
43	.000	5	G
44	.000	5	G
45	.000	5	G

Por otro lado, existen 11 familias (24.4% del total) que se ubican en el rango medio de respuesta al enraizamiento, que podría ser mejorado a través de la búsqueda entre una mayor cantidad de individuos de dichas

familias. Por último, 22 familias (48.9% del total) presentan la menor tasa de enraizamiento, lo que las descartaría en un próximo programa de macropropagación, de no mediar un trabajo de hibridación con las familias de buena tasa de enraizamiento o mejorar sustancialmente el control de las condiciones ambientales, lo que involucraría un aumento significativo en los costos de cada estaca.

La procedencia Valdivia, junto con presentar la menor tasa de enraizamiento, no tiene ninguna familia dentro del grupo de las 12 familias de mejor enraizamiento. Por otro lado, la procedencia Precordillera tiene un 33 % de las familias dentro de este grupo superior (5 de las 15 familias, éstas son la 2, 3, 4, 5 y 6), en tanto que la procedencia Depresión Intermedia, la de mejor tasa promedio de enraizamiento, tiene al 30 % de sus familias dentro del mejor grupo (3 de 10 familias, la 16, 17 y 18). Por último, la procedencia Arauco incluyó el 27 % de sus familias dentro del grupo de alta tasa de enraizamiento (4 de 15, las 31, 34, 36 y 37).

4.2 Tiempo necesario para el enraizamiento (días).

El tiempo promedio necesario para que se produzca la aparición de la radícula principal en la base del tubete alcanza a los 52.6 días (*TABLA 7*). El análisis se realiza sobre las 35 familias que presentaron enraizamiento.

Además, al analizar y resumir los datos (*TABLA 8*), se observa que para las cuatro procedencias, el tiempo promedio necesario para el enraizamiento fluctúa entre los 50 y 58 días, con un tiempo mínimo de 37 días y un máximo de 66 días. El 65.8 % de las familias tardaron entre 50 y 60 días para enraizar. Por otro lado, sólo el 5.7 % de las familias presentó un rápido enraizamiento (entre 35 y 40 días).

TABLA 7. TIEMPO NECESARIO PARA EL ENRAIZAMIENTO (días) DE LAS 35 FAMILIAS CON RESPUESTA.

Familia	Promedio	N	Desviación Estándar
1	45.0	5	1.6
2	49.0	5	4.5
3	48.0	5	2.2
4	58.0	5	6.0
5	45.0	5	2.2
6	58.0	5	6.3
7	58.0	5	3.6
10	58.0	5	6.0
12	55.0	5	4.1
13	50.0	5	3.8
16	43.0	5	2.5
17	51.2	5	3.8
18	56.0	5	3.5
19	58.0	5	2.5
20	50.0	5	3.8
21	52.0	5	3.5
22	59.0	5	3.2
23	49.0	5	4.7
24	52.0	5	3.5
26	58.0	5	4.1
27	57.6	5	1.8
28	57.4	5	3.8
29	58.0	5	3.5
30	58.4	5	3.0
31	40.0	5	2.5
32	58.0	5	2.2
33	45.0	5	2.5
34	39.0	5	2.0
35	53.0	5	3.5
36	51.0	5	3.5
37	53.4	5	3.0
38	52.0	5	1.6
39	56.8	5	3.6
40	58.4	5	2.6
41	50.0	5	3.8
Total	52.6	175	6.5

También se aprecia que la variabilidad no es tan alta, alcanzando a 7 días en el caso más extremo, esto también lo confirma el gráfico de cajas (*FIGURA 3*), puesto que la amplitud de la caja que contiene al 68 % de las observaciones (1 D.E.), para la mayoría de las familias, es mas bien reducida.

TABLA 8. TIEMPO NECESARIO PARA EL ENRAIZAMIENTO (días) SEGÚN PROCEDENCIA.

	Procedencias				Total
	Precordillera	Depresión Intermedia	Valdivia	Costa Arauco	
N° Observaciones	50	45	25	55	175
Mínimo	42.00	40.00	53.00	37.00	37.00
Media	52.40	52.24	57.88	50.60	52.58
Máximo	66.00	63.00	63.00	62.00	66.00
Desv. Estándard	6.63	5.69	3.03	6.96	6.49

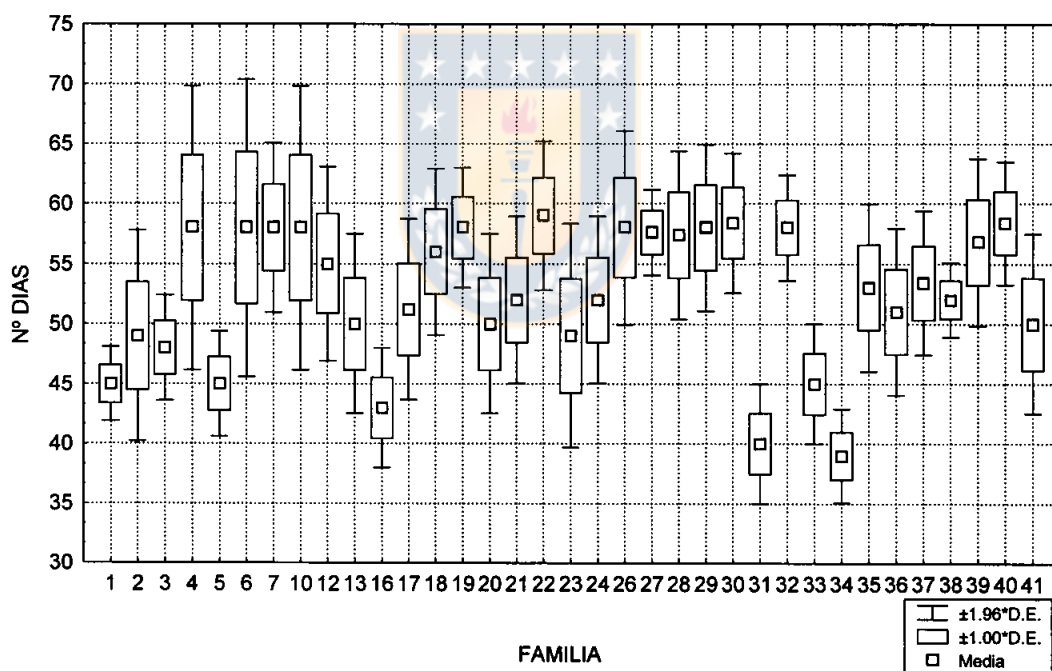


FIGURA 3. Gráfico de cajas para la variable tiempo (días) necesario para el enraizamiento, organizado por familias. En donde :

- 1 D.E. : Una vez la desviación estándar, intervalo que contiene al 68 % de las observaciones.
- 1.96 D.E. : 1.96 veces la desviación estándar, intervalo que contiene al 95 % de las observaciones.

El Test de Kruskal-Wallis a una vía entrega como resultado la existencia de diferencias altamente significativas en la velocidad de enraizamiento presentada por cada familia ($\text{Prob} > \chi^2 = 0.001$).

Al realizar las comparaciones múltiples (*APÉNDICE IV*), a través del Test de Wilcoxon-Wilcox (*ANEXO 1*), se obtienen 25 grupos (*TABLA 9*) de familias con porcentajes de supervivencia diferentes ($\alpha = 0.05$).

TABLA 9. SEPARACIÓN DE MEDIAS PARA LA VARIABLE TIEMPO NECESARIO PARA EL ENRAIZAMIENTO (días). TEST DE WILCOXON-WILCOX (Medias con la misma letra no son significativamente diferentes, $\alpha = 0.05$).

Familia	Suma de rangos	N	Grupo de Wilcoxon-Wilcox
34	28.0	5	A
31	41.0	5	B
16	89.5	5	C
1	130.5	5	D
5	133.5	5	DE
33	136.0	5	E
3	226.5	5	F
2	277.0	5	G
23	279.5	5	G
13	308.5	5	H
20	308.5	5	H
41	308.5	5	H
36	345.5	5	I
17	363.5	5	J
38	382.0	5	K
21	393.0	5	L
24	393.0	5	L
35	443.0	5	M
37	459.0	5	N
12	530.5	5	N
18	579.5	5	O
39	615.5	5	P
6	631.0	5	Q
4	636.5	5	R
10	636.5	5	R
28	641.5	5	R
26	658.0	5	S
27	659.0	5	T
29	661.0	5	T
7	667.5	5	T
19	673.5	5	U
32	676.0	5	V
30	686.5	5	V
40	693.5	5	W
22	709.0	5	X
			Y

De los resultados expuestos en la *TABLA 9*, se puede concluir que existen pocos grupos de familias que presenten un período similar de tiempo para enraizar, pero dentro de las cinco familias que enraizan más rápido, destacan las tres familias de mejor tasa de enraizamiento (31, 16 y 5), lo que indicaría que las familias que presentan una mayor capacidad rizogénica también lo hacen en un tiempo menor.

4.3 Supervivencia.

La información compilada en la *TABLA 10*, muestra la evolución de la supervivencia promedio de las estaquillas para las 45 familias ensayadas, con una medición sistemática cada 10 días.

TABLA 10. DESCRIPCIÓN RESUMIDA DE LA SUPERVIVENCIA (%).

Días	Promedio	Mínimo	Máximo
10	99.6	88.0	100.0
20	94.8	60.0	100.0
30	80.9	24.0	100.0
40	65.6	20.0	100.0
50	57.0	12.0	96.0
60	48.4	0.0	96.0

Se puede concluir que el 80.9 % promedio de supervivencia a los 30 días es un valor aceptable, si lo comparamos con otros estudios en que la mortalidad alcanza a casi el 50% (Ipinza y Gutiérrez, 1992), lo que indica que las condiciones ambientales, de sanidad y el medio de enraizamiento cumplieron con el objetivo de reducir la deshidratación de las estaquillas, de impedir el ataque de hongos y de mantenerlas fisiológicamente activas.

Sin embargo, a partir de los 40 días (*TABLA 11*) la supervivencia cae drásticamente, llegando al 48.4% a los 60 días, donde sólo permanecen

vivas aquellas estacas enraizadas (12.6 %) y otras que no logran enraizar, dado probablemente a que sus condiciones nutricionales están disminuídas.

TABLA 11. RESULTADOS DE LA SUPERVIVENCIA POR FAMILIA, EVALUACIÓN CADA 10 DÍAS.

Familia	Supervivencia (%)					
	10	20	30	40	50	60
1	100.0	100.0	96.0	92.0	72.0	60.0
2	96.0	96.0	92.0	76.0	64.0	52.0
3	100.0	100.0	96.0	76.0	72.0	68.0
4	100.0	100.0	100.0	100.0	80.0	64.0
5	100.0	84.0	84.0	68.0	52.0	36.0
6	100.0	100.0	100.0	88.0	88.0	84.0
7	100.0	100.0	96.0	76.0	72.0	68.0
8	100.0	88.0	72.0	24.0	20.0	8.0
9	100.0	96.0	72.0	48.0	44.0	20.0
10	100.0	100.0	88.0	52.0	36.0	24.0
11	100.0	100.0	100.0	56.0	20.0	8.0
12	100.0	96.0	88.0	84.0	76.0	64.0
13	100.0	100.0	100.0	100.0	80.0	48.0
14	100.0	60.0	28.0	28.0	12.0	0.0
15	100.0	100.0	88.0	68.0	24.0	12.0
16	88.0	88.0	88.0	64.0	64.0	64.0
17	100.0	88.0	76.0	60.0	60.0	60.0
18	100.0	96.0	96.0	88.0	88.0	88.0
19	100.0	96.0	80.0	64.0	60.0	56.0
20	100.0	100.0	88.0	64.0	64.0	60.0
21	100.0	100.0	88.0	68.0	60.0	44.0
22	100.0	96.0	80.0	28.0	24.0	16.0
23	100.0	96.0	92.0	72.0	60.0	48.0
24	100.0	100.0	92.0	92.0	76.0	68.0
25	100.0	96.0	96.0	68.0	56.0	36.0
26	100.0	100.0	88.0	60.0	44.0	20.0
27	100.0	100.0	72.0	72.0	68.0	68.0
28	100.0	96.0	52.0	40.0	32.0	28.0
29	100.0	100.0	76.0	64.0	56.0	52.0
30	100.0	100.0	88.0	84.0	80.0	72.0
31	100.0	96.0	76.0	76.0	72.0	68.0
32	100.0	72.0	64.0	60.0	52.0	36.0
33	100.0	100.0	100.0	100.0	96.0	96.0
34	100.0	100.0	76.0	76.0	72.0	72.0
35	100.0	100.0	84.0	64.0	64.0	60.0
36	100.0	100.0	76.0	60.0	60.0	56.0
37	100.0	100.0	80.0	64.0	56.0	48.0
38	100.0	100.0	64.0	44.0	36.0	28.0
39	100.0	100.0	96.0	96.0	80.0	68.0
40	100.0	100.0	96.0	80.0	76.0	72.0
41	100.0	100.0	40.0	24.0	24.0	20.0
42	100.0	88.0	24.0	20.0	20.0	16.0
43	100.0	68.0	64.0	36.0	32.0	28.0
44	100.0	92.0	88.0	76.0	72.0	68.0
45	100.0	76.0	60.0	52.0	48.0	44.0
Promedio	99.6	94.8	80.9	65.6	57.0	48.4

Las cinco familias con mayor supervivencia, a los 60 días de montado el ensayo, fueron; 33 (96 %), 18 (88 %), 6 (84 %), 40 (72 %) y 30 (72 %), un ordenamiento decreciente de la supervivencia se observa en la *FIGURA 4*. Además, destaca el hecho de que entre estas cinco familias se encuentran dos familias del grupo de mayor enraizamiento (6 y 18) y once de las doce familias de mayor tasa de enraizamiento superan el 50 % de supervivencia.

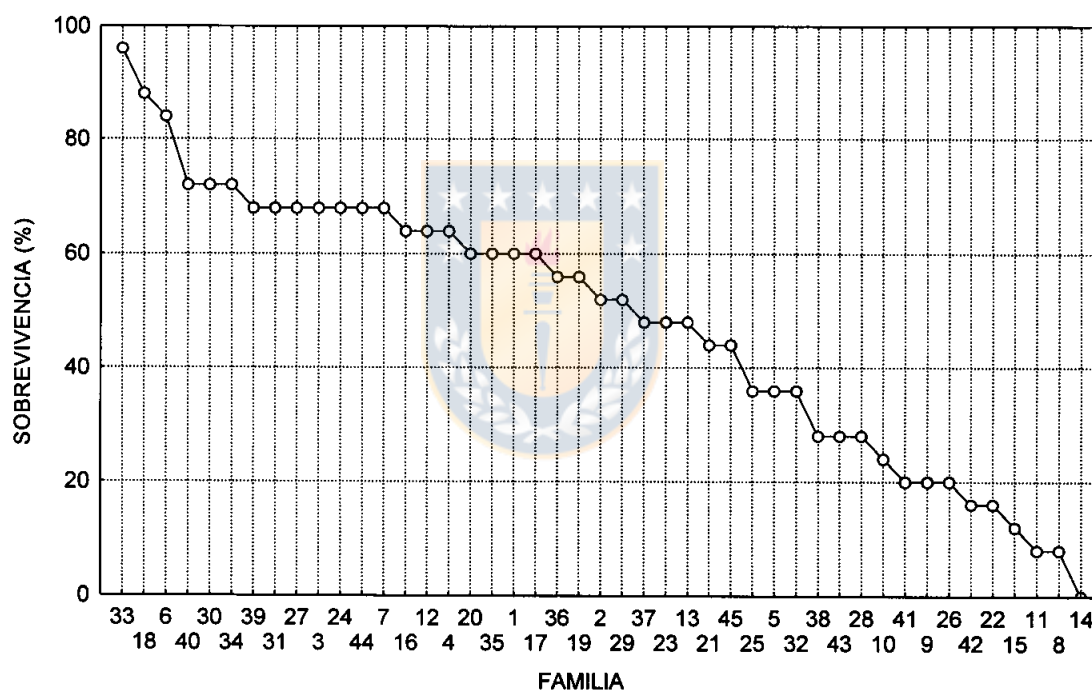


FIGURA 4. Supervivencia (%) por familia a los 60 días, ordenadas de mayor a menor.

Al eliminar algunos datos extremos, el análisis de varianza reveló que no existen diferencias significativas entre la supervivencia de las familias a los 60 días de evaluación.

4.4 Correlaciones.

Con el objetivo de definir el grado de relación que existe entre la variable de mayor interés, que es la tasa de enraizamiento promedio por familia, y las demás variables; días necesarios para el enraizamiento y supervivencia, se realizó un análisis de correlación entre ellas.

4.4.1 Correlación enraizamiento - tiempo de enraizamiento. Los resultados de la correlación son los siguientes;

- Coeficiente de correlación lineal (r) : - 0.5122375798
- Enraizamiento (Y) = 60.1266 - 0.8349 (X Tiempo)

El coeficiente de correlación de -0.5 sugiere que existe una relación media negativa (inversa) entre el enraizamiento y la velocidad con que se produce, es decir, que en promedio para la mayoría de las familias que enraizan con mayor facilidad el tiempo requerido para hacerlo es menor (*FIGURA 5*).

4.4.2 Correlación enraizamiento - supervivencia. Los resultados de la correlación son los siguientes;

- Coeficiente de correlación lineal (r) : 0.3419356665
- Enraizamiento (Y) = 7.30956 + 0.16124 (X Supervivencia)

El coeficiente de correlación de 0.34 indicaría la existencia de una relación media positiva (directa) entre el enraizamiento y la supervivencia de las estacas, lo que implicaría que en promedio, para la mayoría de las familias

que enraizan con mayor facilidad las estacas presentan una mayor supervivencia (FIGURA 6).

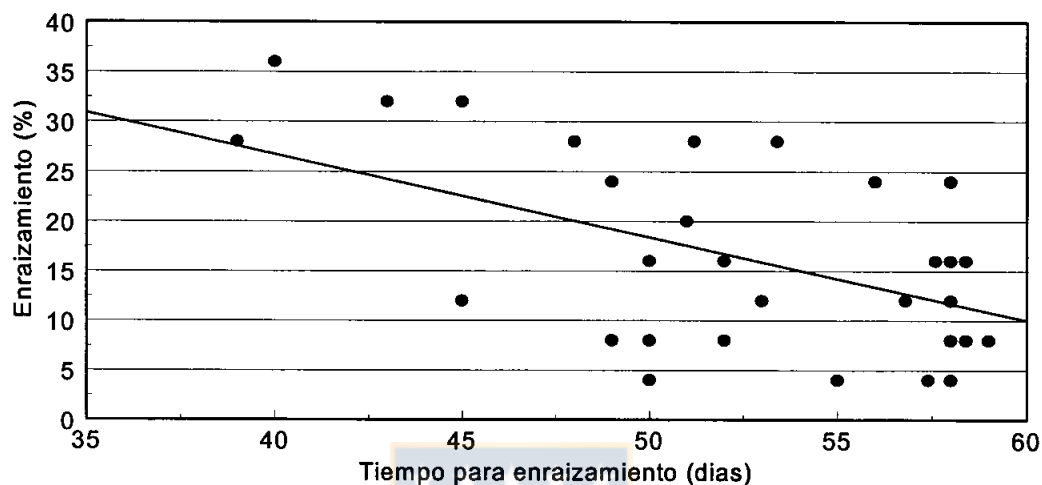


FIGURA 5. Dispersión de tasa promedio de enraizamiento y el tiempo (días) necesario para que se produzca.

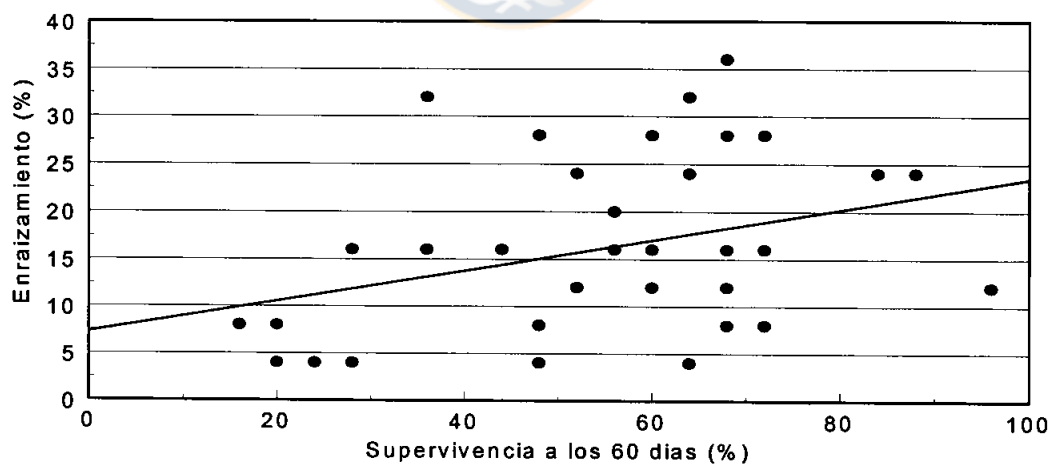


FIGURA 6. Dispersión del enraizamiento promedio familiar y la supervivencia (%) de las estacas.

V. CONCLUSIONES.

Del análisis de los resultados del estudio se desprenden las siguientes conclusiones :

1. La capacidad de enraizamiento de las 45 familias de árboles plus ensayados son significativamente diferentes, con un rango que va desde el 0 al 36 % y una tasa promedio de enraizamiento del 12.62 %.
2. Las doce familias con la mayor tasa de enraizamiento son las que forman el siguiente grupo; 31, 16, 5, 34, 17, 3, 37, 6, 4, 18, 2 y 36, con las cuales es posible iniciar un programa intensivo de enraizamiento siguiendo el protocolo de este ensayo.
3. El tiempo necesario para que se produzca enraizamiento, entre las 35 familias que enraizaron, es significativamente distinto. Con un tiempo promedio de 53 días y un rango que fluctuó entre los 40 y 66 días.
4. La familia 34 fue la familia que enraizó más rápido, y no forma grupo con ninguna otra, necesitando solamente 39 días para enraizar.
5. La supervivencia de las estacas no mostró un patrón diferente entre las familias, por lo que se asume un carácter independiente de la familia con que se ensaye.
6. Las cinco familias con mejor tasa de supervivencia a los 60 días de montado el ensayo fueron la 33 (96 %), 18 (88 %), 6 (84 %), 40 (72 %) y 30 (72 %).

7. Existe una correlación inversa entre el enraizamiento y la velocidad con que éste se produce; es decir, las familias que enraizan con mayor facilidad requieren de menor tiempo para hacerlo.

8. Existe una correlación directa entre el enraizamiento y la supervivencia de las estacas; es decir, las familias que enraizan con mayor facilidad presentan menor mortalidad.



VI. SUMMARY.

Using a complete randomized blocks design, were evaluated the differences in cutting rooting capacity of 45 families (progeny) of *Eucalyptus globulus*, that represent the Plus Trees selected within genetic improvement program for this specie. Furthermore, it is measured the necessary time for rooting and the evolution of cuttings survival.

The cuttings were treated with IBA and environmental conditions (substrate temperature and relative air humidity) were controlled.

Rooting rate obtained to 60 days from trial start was 12.6%. This results depends directly on the families. The results varying from un-rooted families until families with a maximum of 36% of rooting. Furthermore, the average time for rooting of 35 families that rooted, it was significantly different and reached 53 days. At 60 days, cuttings survival had a similar behavior among the families, reaching 48.4%. The results revealed that families with a greater rooting capacity require of smaller time to make it and also present a smaller mortality.

RESUMEN.

Utilizando un Diseño de Bloques Completos al Azar, se evaluó las diferencias en la capacidad de enraizamiento de estacas de 45 familias (progenies) de *Eucalyptus globulus*, familias que representan a los Árboles Plus seleccionados dentro del Programa de Mejoramiento Genético para esta especie. Además, se mide el tiempo necesario para que se produzca el enraizamiento y también la evolución de la supervivencia de las estacas.

Las estacas fueron tratadas con AIB y se controlaron las condiciones ambientales de temperatura del sustrato, del ambiente y la humedad relativa.

El porcentaje de enraizamiento promedio obtenido a los 60 días de montado el ensayo alcanzó al 12.6 % y se concluye que depende directamente de las familias ensayadas, variando desde familias que no enraizaron hasta familias con un máximo del 36 % de enraizamiento. Además, el tiempo de enraizamiento promedio, para las 35 familias que enraizaron, fue significativamente diferente y alcanzó a 53 días. La supervivencia de las estacas tuvo similar comportamiento entre las familias y a los 60 días alcanzó a un 48.4 %. Por último, el ensayo reveló que las familias que tienen una mayor capacidad para enraizar requieren de menor tiempo para hacerlo y también presentan una menor mortalidad.

VII. BIBLIOGRAFIA.

- AGUIRRE, J. y ARCE, J., 1988. Algunos Resultados Sobre Propagación Vegetativa de Especies de *Eucalyptus* en Chile. En: Actas del Simposio de Manejo Silvícola del Género *Eucalyptus*. Viña del Mar, Chile, 22p: 9-10 Junio.
- BACHELARD, E. y STOWE, B., 1963. Rooting of Cuttings of *Acer rubrum* and *Eucalyptus camaldulensis*. Aust. Jour. Biol. Sci. 16: Pp 751-761.
- CAMPINHOS, E., 1987. Propagacao Vegetativa de *Eucalyptus* spp. por Enraizamiento de estacas. En: Simposio Sobre Silvicultura y Mejoramiento de Especies Forestales. Buenos Aires, Argentina. CIEF. Pp 208-214.
- CAMPINHOS, E. e IKEMORI, Y., 1983. Producao massal de *Eucalyptus* spp. A través de estacas. Simposio IUFRO. El Mejoramiento Genetico e Productividade de Especies Florestais de Rapido Crecimiento. Brasil. Pp 770-775.
- CAUVIN, B., 1982. Réjuvénilisation-Multiplication d'ortets Séniles *Eucalyptus*. Annales AFOCEL. Pp 74-105.
- CHAPERON, H., 1983. Clonal Propagation of *Eucalypt* by Cutting in France. En: Proceeding of a Workshop on *Eucalypt* in California. June, 14-16. Pp 108-114.

- CHAPERON, H., 1987. Clonal Propagation of *Eucalyptus*. En: Simposio Sobre Silvicultura y Mejoramiento de Especies Forestales. Buenos Aires, Argentina. CIEF. Pp 215-232.
- GUTIERREZ, B.; IPINZA, R. y CHUNG, P., 1992. Propagación Vegetativa y Silvicultura Clonal en *Eucalyptus*. No publicado. INFOR. Santiago, Chile.
- HARTNEY, V., 1980. Vegetative Propagation of *Eucalypts*. Aust. For. Res. 10(3): 191-211.
- IPINZA, R. y GUTIERREZ, B., 1992. Resultados Preliminares de un Ensayo de Enraizamiento de Estaquillas de *Eucalyptus globulus ssp. globulus*. Ciencia e Investigación Forestal. Vol. 6, Nº 1: Pp 60-79.
- LITTLE, T. y HILLS, F., 1976. Métodos Estadísticos Para la Investigación en la Agricultura. México. Editorial trillas: 269p.
- MARAIS, G., 1988. Environmental Control for Clonal propagation. South African Forestry Journal. Pp 10-12.
- MUÑOZ, M., 1997. Efecto del número de hojas y concentración de ácido indolbutírico, en el enraizamiento de estaquillas de *Eucalyptus globulus labill*. Tesis de grado Universidad de Concepción, Facultad de Cs. Forestales. Concepción, Chile.
- NEL, A., 1995. Vegetative propagation. Cutting. Short Course on Tree Breeding Techniques. Forestek, Southafrica. Mayo.

- NIENSTAEDT, H.; CECH, F.; MERGEN, F.; WANG, C. y ZAK, B., 1958. Vegetative Propagation in Forest Genetics Research a Practice. Journal of Forestry 56(11). Pp 826-839. November.
- PATON, D., 1983. Vegetative Propagation of Adult *Eucalypts*. Colloque International Sur les *Eucalypts* Résistants au Froid. IUFRO. France. Pp 570-586.
- PIERCE, B., 1995. Vegetative propagation. *Grafting*. Short Course on Tree Breeding Techniques. Forestek, Southafrica. Mayo.
- POTTS, B. y POTTS, W., 1988. *Eucalypt* Breeding in france. Aust. For. 49(4): Pp 210-218.
- RAUTER, R.M., 1983. Current status of macropropagation. En: Proceeding of the 19° meeting of the Canadian Tree Improvement Asociation. Part 2: Symposium on clonal forestry, its impact on the improvement and our futures forest. Toronto, Ontario, Canadá. Agosto. Pp 58-74.
- SABJA, A.M.; JORDAN, M.; VELOZO, J.; VIDELA, P. y AMPUERO, A., 1992. Propagación Vegetativa por Medio de Estacas y Cultivo in vitro de *Eucalyptus* spp. En: Segundo Taller Silvícola Eucalyptus-Bosque Nativo. Concepción Chile. Pp 66-84.
- SACHS, M.; LEE CHONG; RIPPERDA, J. y WOODWARD, R., 1988. Selection and Clonal Propagation of *Eucalyptus*. California Agriculture. Pp 27-32.

SAS., 1987. Stat guide, version 6. Edition SAS Institut. 702 p.

SHIMIZU, J., 1988. Vegetative Propagation for tree Improvement and Operational Plantings. En: Actas del Simposio de Manejo Silvícola del Género *Eucalyptus*. Viña del Mar, Chile, 10p: 9-10 Junio.

VAN WYK, G., 1985. Tree Breeding in Support of Vegetative Propagation of *Eucalyptus grandis (Hill) maiden*. South African Forestry Journal. Pp 33-40.

VAN WYK, G. Vegetative propagation. *Cutting*. Short Course on Tree Breeding Techniques. Forestek, Southafrica. Mayo. 1995.

ZOBEL, B.J.; VAN WYK, G. y STAHL, P., 1987. Growing Exotic Forest. New York, John Wiley & Sons: 508p.

ZOBEL, B.J. y TALBERT, J., 1988. Técnicas de Mejoramiento Genético de Arboles Forestales. México. Editorial Limusa: 545p.

ANEXO 1

Test No Paramétrico de KRUSKAL-WALLIS

Prueba ampliamente utilizada para docimar diferencias significativas entre los tratamientos cuando se trata de variables discretas.

Supuestos

- ⇒ Las observaciones son independientes dentro y entre los tratamientos
- ⇒ La escala es a lo menos ordinal
- ⇒ Las poblaciones son idénticas, excepto en la mediana

Hipótesis

Ho Todas las familias tienen igual comportamiento.
 H1 Al menos una familia se comporta distinto.

Dócima

$$H = \frac{1}{S^2} \sum_{i=1} [R_i^2 - N(N+1)^{2/4}]$$

$$S^2 = \frac{1}{N-1} \sum_{i=1} \sum_{j=1} [R_{ij}^2 - N(N+1)^{2/4}]$$

Donde;

H Dócima de KRUSKAL-WALLIS
 S² Varianza estimada
 Ri² Suma de rangos al cuadrado
 N Número de observaciones totales
 n Número de observaciones de cada tratamiento
 i Tratamientos

Decisión

El valor obtenido para H se compara con el valor para un nivel de confianza y para $n-1$ grados de libertad de una tabla de Chi-cuadrado.

De aceptar H_0 como verdadera se concluye que todas las familias tienen idéntico comportamiento, y que de existir un pequeño rango de valores se debe sólo al azar. Por el contrario, al rechazar H_0 concluimos que existen diferencias entre las familias.



ANEXO 2

Test de Comparaciones Múltiples de WILCOXON-WILCOX

Prueba ampliamente utilizada para estimar el mejor tratamiento cuando se trata de variables discretas.

Supuestos

⇒ Existen n tratamientos

⇒ Las observaciones dentro de cada tratamiento se pueden ordenar

⇒ No existe interacción entre los tratamientos

Hipótesis

H₀ Las diferencias provocadas por uno o varios tratamientos son causales.

H₁ Un tratamiento o varios provocan diferencias que vamos a detectar.

Dócima $D = | R_i - R_j |$

Donde; R_i Rango i ésimo de un tratamiento ($i=1, \dots$)

R_j Rango j ésimo de un tratamiento ($j=1, \dots$)

Decisión $D \geq z \frac{\alpha}{k(k-1)} * \sqrt{\frac{bk(k+1)}{6}}$

Donde; D Dócima de WILCOXON-WILCOX

b Número de bloques

z Valor de la tabla normal

α nivel de confianza
k número de tratamientos

Se comparan todos los tratamientos obteniéndose, para cada uno de ellos, el valor de D. Si éste es superior al resultado de la igualdad del lado derecho, significa que entre esos tratamientos existen diferencias, por lo tanto, se rechaza.

Las comparaciones se hacen con los tratamientos que hayan dado mejores resultados. Para esto, los tratamientos deben ordenarse, según sea el caso, el que tenga mayor o menor valor de los que hallan resultado iguales.



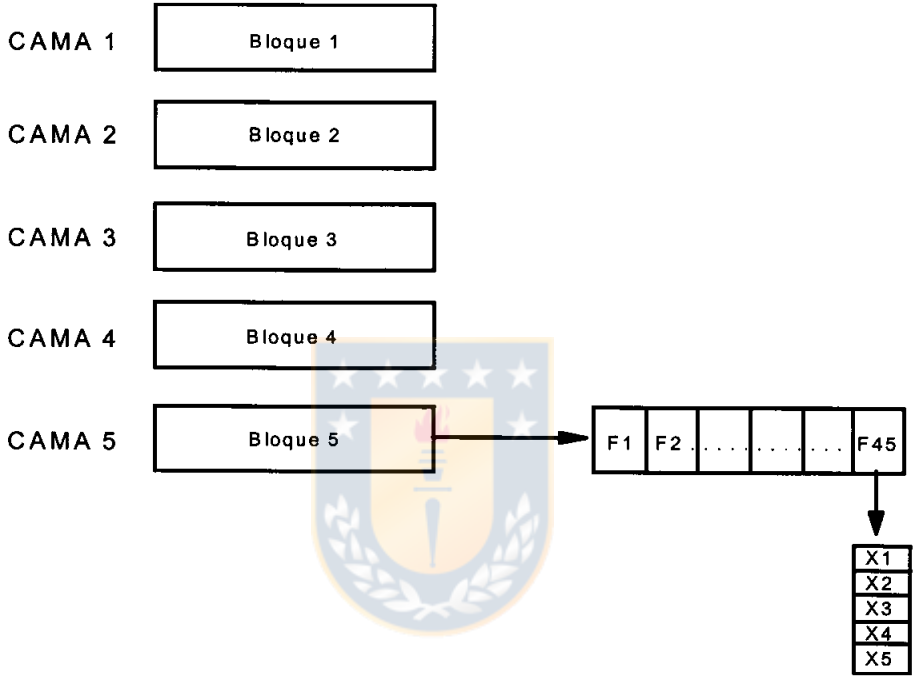
APÉNDICE I. Solución base utilizada en la fertilización de los setos.

Producto	Dosis	Elementos incorporados
Ultrasol	8 Kg	N, P ₂ O ₅ , K ₂ O
Kristasul	24 Kg	K ₂ O, S
Flow Mavar Quelato 8	0.3 Kg	S, B, Cu, Co, MgO, Zn, Fe, Mn
Flow Mavar Mg	0.4 Lts	P ₂ O ₅ , Mg, Zn, S
Flow Mavar P, Ca, Zn	0.3 Kg	P, Ca, Zn

Esta dosis es diluída en 200 litros de agua, y es aplicada a los setos a través de un sistema de fertirrigación.



APÉNDICE II. Distribución espacial de las 45 familias (F) dentro de uno de los 5 bloques, en donde xi es la estaca x del individuo i.



Cada bloque está representado por una cama caliente, las cuales están distribuidas a lo largo de todo el invernadero, a su vez, dentro de cada bloque se colocaron las 45 familias representadas por una estacilla de cada individuo.

APÉNDICE III. Análisis de varianza para el Enraizamiento

El Análisis de Varianza (TABLA 1A) revela la existencia de diferencias altamente significativas, al 99 % ($\alpha=0.01$) en la aptitud de enraizamiento entre las 45 familias ensayadas.

TABLA 1A. ANÁLISIS DE VARIANZA PARA EL ENRAIZAMIENTO.

Fuente	G.L.	Suma Cuadrado	Media Suma Cuadrado	Valor F	Pr > F
Bloque	4	0.148368411	0.037092102	0.975	0.4870
Familia	44	9.277673794	0.210856223	5.544	n.s.
Error	176	6.693311756	0.038030180		0.0001 *
Total	224	16.11972581			

n.s. : No significativo, $\alpha=0.05$

* : Altamente significativo, al 99 % de confianza, $\alpha=0.01$

APÉNDICE IV. Comparaciones múltiples para el tiempo necesario para el enraizamiento (días).

Al realizar las comparaciones múltiples, a través del Test de Wilcoxon-Wilcox se obtiene lo siguiente;

$$z = \frac{\alpha}{k(k-1)} * \sqrt{\frac{bk(k+1)}{6}}$$

$$z = 0.0013615$$

Donde; α : nivel de confianza

k : número de tratamientos

b : número de bloques

Por lo tanto; $G(z) = 3.0015$; valor de Tabla Normal

Por otro lado; $D = |R_i - R_j|$ R_i : rango i-ésimo de la familia
($i=1\dots$)

R_j : rango j-ésimo de la familia
($j=1\dots$)

Decisión; Si $D \geq G(z)$; existen diferencias entre las familias

Luego, se obtienen 25 grupos de familias con porcentajes de supervivencia diferentes, al 95 % de confianza ($\alpha=0.05$).