



**UNIVERSIDAD DE LA REPUBLICA**

**FACULTAD DE AGRONOMIA**

**ESTUDIO DEL SISTEMA RADICULAR DE CLONES  
SELECTOS DE *Eucalyptus grandis***

por

FACULTAD DE AGRONOMIA

DEPARTAMENTO DE  
DOCUMENTACION Y  
BIBLIOTECA

**Nicolás PELUFFO CURBELO  
Leonardo Javier PRUNELL CUARTIN**

TESIS presentada como uno de  
los requisitos para obtener el  
título de Ingeniero Agrónomo.  
( Orientación Forestal )

**MONTEVIDEO  
URUGUAY  
1998**

Tesis aprobada por:

Director : Ing. Agr. Zohra BENNADJI, Ph. D.

Nombre completo y firma

Ing. Agr. Alfredo GRAVINA

Nombre completo y firma

Ing. Agr. Rafael ESCUDERO

Nombre completo y firma

Fecha : \_\_\_\_\_

Autor : Nicolás PELUFFO CURBELO

Nombre completo y firma

Leonardo Javier PRUNELL CUARTIN

Nombre completo y firma

## AGRADECIMIENTOS

El testimonio de nuestra gratitud:

A las autoridades del Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria (INIA - Tacuarembó), que nos permitieron la realización del trabajo que posibilitó la materialización de esta tesis.

A la Sra. Jefe del Programa Nacional Forestal Ing. Agr. Zohra Bennadji, Ph. D por su invaluable orientación y colaboración a nuestra tarea.

Al Ing. Agr. Alfredo Gravina, docente de la Facultad de Agronomía, quien contribuyó con su aporte técnico a los lineamientos generales considerados en este trabajo.

Al Ing. Agr. Rafael Escudero, docente del Area Forestal por la amistosa receptividad a nuestros planteos.

Al Ing. Agr. Juan Burgueño por su valioso aporte en relación al análisis estadístico.

Al personal técnico y funcionarios del INIA - Tacuarembó por sus muestras de cooperación, con especial reconocimiento al Sr. Oscar Dalera.

Finalmente, hacemos extensivo el agradecimiento a todas aquellas personas que, de alguna manera u otra, contribuyeron a la realización de esta tesis.

## TABLA DE CONTENIDO

	Pag
PAGINA DE APROBACION.....	II
AGRADECIMIENTOS.....	III
LISTA DE CUADROS E ILUSTRACIONES.....	IV
1. <u>INTRODUCCION</u> .....	1
2. <u>REVISION BIBLIOGRAFICA</u> .....	3
2.1 <u>PROPAGACION VEGETATIVA DE ESPECIES FORESTALES</u> .....	3
2.1.1 <u>Generalidades</u> .....	3
2.1.2 <u>Técnicas de propagación vegetativa</u> .....	4
2.1.2.1 <u>Estacas o esquejes</u> .....	4
2.1.2.2 <u>Injertos</u> .....	4
2.1.2.3 <u>Acodos</u> .....	5
2.1.2.4 <u>Cultivo de tejidos</u> .....	5
2.1.2.5 <u>Microestacas</u> .....	6
2.1.3 <u>Ventajas de la propagación vegetativa</u> .....	6
2.1.3.1 <u>Multiplicación de genotipos selectos</u> .....	6
2.1.3.2 <u>Uso comercial de la heterosis</u> .....	7
2.1.3.3 <u>Interección genotipo - ambiente</u> .....	7
2.1.3.4 <u>Mayor uniformidad de los productos forestales</u> .....	7
2.1.3.5 <u>Acortamiento del ciclo del cultivo</u> .....	8
2.1.3.6 <u>Aumento en la productividad forestal</u> .....	8
2.1.4 <u>Desventajas de la propagación vegetativa</u> .....	9
2.1.4.1 <u>Reducción de la diversidad genética</u> .....	9
2.1.4.2 <u>Mayor interacción con el ambiente</u> .....	9
2.1.4.3 <u>Conocimiento técnico y mayores costos de producción</u> .....	9
2.2 <u>ANTECEDENTES</u> .....	10
2.2.1 <u>Antecedentes en el mundo</u> .....	10
2.2.2 <u>Antecedentes en el Uruguay</u> .....	14
2.2.2.1 <u>EUFORES S.A. ( Filial de ENCE Española )</u> .....	14
2.2.2.2 <u>Programa Nacional Forestal - INIA</u> .....	14
2.2.2.3 <u>Otras empresas</u> .....	15
2.3 <u>CONCEPTOS BASICOS DEL SISTEMA RADICULAR</u> .....	15
2.3.1 <u>Definición</u> .....	15
2.3.2 <u>Crecimiento inicial de la raíz</u> .....	16
2.3.3 <u>Anatomía del sistema radicular</u> .....	16
2.3.3.1 <u>Estructura primaria</u> .....	17
2.3.3.2 <u>Estructura secundaria</u> .....	18
2.3.4 <u>Funciones</u> .....	19
2.3.4.1 <u>La raíz como órgano absorbente</u> .....	19
2.3.4.2 <u>La raíz como órgano de reserva</u> .....	19
2.3.4.2 <u>La raíz como órgano de fijación</u> .....	19

2.4 SISTEMA RADICULAR EN ESTACAS.....	20
2.4.1 Aspectos fisiológicos de raíces adventicias.....	21
2.4.2 Características de enraizamiento.....	22
2.4.3 Calidad del sistema radicular.....	27
2.4.4 Diferencias en la raíz según su origen.....	27
3 MATERIALES Y METODOS.....	31
3.1 ENSAYO CON ESTACAS.....	31
3.1.1 Localización geográfica e instalaciones utilizadas.....	31
3.1.2 Material vegetal madre.....	31
3.1.3 Descripción de clones evaluados.....	32
3.1.4 Colecta y acondicionamiento del material.....	32
3.1.5 Confección de las estacas.....	33
3.1.6 Condiciones ambientales en el desarrollo de las estacas.....	33
3.1.7 Sustratos, fitoreguladores y envases.....	34
3.1.8 Diseño experimental y tratamientos.....	36
3.1.9 Parámetros estudiados.....	37
3.1.10 Procedimiento en las mediciones.....	38
3.3 ENSAYO DE PLANTAS POR SEMILLA.....	39
3.2.1 Localización geográfica e instalaciones utilizadas.....	39
3.2.2 Descripción de los factores.....	39
3.2.3 Condiciones prácticas de realización del ensayo.....	40
3.2.4 Diseño experimental y tratamientos.....	41
3.2.5 Parámetros estudiados.....	42
4 RESULTADOS Y DISCUSION.....	43
4.1 CONSIDERACIONES PREVIAS.....	43
4.2 PATRONES DE ENRAIZAMIENTO.....	44
4.2.1 En estacas.....	44
4.2.2 En plantas propagadas por semillas.....	49
4.3 ANALISIS DE LOS PATRONES DE ENRAIZAMIENTO EN ESTACAS.....	52
4.4 LONGITUD RADICULAR.....	64
4.4.1 Longitud por proyección.....	64
4.4.2 Longitud por curvímetero.....	66
4.5 NÚMERO DE RAICES GRUESAS.....	69
4.6 BIOMASA EVALUADA A TRAVES DEL PESO SECO RADICULAR Y AEREO.....	72
4.6.1 Peso seco radicular.....	72
4.6.2 Peso seco aéreo.....	75
5 CONCLUSIONES Y PERSPECTIVAS.....	79
6 RESUMEN.....	81
7 SUMMARY.....	83

8. <u>BIBLIOGRAFIA</u> .....	85
9. <u>ANEXO</u> .....	89
Anexo 1- Plano del banco clonal de <i>Eucalyptus grandis</i> ubicado en el establecimiento "La Magnolia".....	90
Anexo 2- Cuadro N° 15. Lista de clones localizados en el banco clonal.....	91
Anexo 3- Características y manejo del banco clonal.....	92
Anexo 4- Características del invernáculo utilizado en la producción de estacas.....	93
Anexo 5- Cuadro N° 16. Datos obtenidos de casilla meteorológica, INIA - Tacuarembó.....	94
Anexo 6- Fórmula Logit utilizada en el análisis estadístico.....	95
Anexo 7- Cuadro N° 17. Niveles de significancia de factores e interacciones para el patrón de enraizamiento callo sólo (e1).....	96
Cuadro N° 18. Niveles de significancia de factores e interacciones para el patrón de enraizamiento callo con raíces que emergen de éste (e2).....	97
Cuadro N° 19. Niveles de significancia de factores e interacciones de la variable longitud radicular por proyección.....	98
Cuadro N° 20. Niveles de significancia de factores e interacciones de la variable longitud radicular por curvimetro.....	99
Cuadro N° 21. Niveles de significancia de factores e interacciones de la variable número de raíces gruesas.....	100
Cuadro N° 22. Niveles de significancia de factores e interacciones de la variable peso seco radicular.....	101
Cuadro N° 23. Niveles de significancia de factores e interacciones de la variable peso seco aéreo.....	102
Anexo 8- Cuadro N° 24. Porcentaje de patrones de enraizamiento por tratamiento.....	103
Anexo 9- Cuadro N° 25. Longitud radicular promedio por proyección para cada tratamiento.....	104
Anexo 10- Cuadro N° 26. Longitud radicular promedio por curvimetro para cada tratamiento.....	105
Anexo 11- Cuadro N° 27. Número de raíces gruesas promedio para cada tratamiento.....	106
Anexo 12- Peso seco radicular y aéreo promedio y sus respectivos desvíos standard para cada tratamiento.....	107

## LISTA DE CUADROS E ILUSTRACIONES

Cuadro N°		Pag.
1	Características radiculares según su origen.....	30
2	Principales características físico - químicas del sustrato vermiculita.....	34
3	Principales características físico - químicas del sustrato comercial Plantmax.....	35
4	Efecto del sustrato y fitoregulador en el porcentaje del patrón e1..	53
5	Efecto de la interacción clon, fitoregulador, envase, sustrato en el porcentaje del patrón e1 para el clon VS8.....	56
6	Efecto de la interacción clon, fitoregulador, envase, sustrato en el porcentaje del patrón e1 para el clon VS13.....	56
7	Efecto del clon y el envase en el porcentaje del patrón e2.....	57
8	Efecto de la interacción clon, fitoregulador, envase, sustrato en el porcentaje del patrón e2 para el clon VS8.....	62
9	Efecto de la interacción clon, fitoregulador, envase, sustrato en el porcentaje del patrón e2 para el clon VS13.....	62
10	Efecto del envase y fitoregulador utilizado en la longitud radicular por proyección.....	64
11	Efecto del clon y fitoregulador utilizado en la longitud radicular por curvímetero.....	66
12	Efecto del clon y sustrato utilizado en el número de raíces gruesas.....	69
13	Efecto del clon, fitoregulador y sustrato utilizado en el peso seco radicular.....	72
14	Efecto del fitoregulador y sustrato utilizado en el peso seco aéreo.....	75

### Gráfico N°

1	Patrones de enraizamiento en porcentaje acumulado por tratamiento.....	52
2	Porcentaje del patrón e1 en función del sustrato utilizado.....	54
3	Porcentaje del patrón e1 en función del fitoregulador utilizado.....	54
4	Efecto de la interacción clon x fitoregulador x sustrato en el porcentaje de patrón e1.....	55
5	Efecto de la interacción envase x fitoregulador x sustrato en el porcentaje de patrón e1.....	55

6	Porcentaje del patrón e2 en función del clon utilizado.....	57
7	Porcentaje del patrón e2 en función del envase utilizado.....	58
8	Efecto de interacción sustrato x fitoregulador en el porcentaje de patrón e2.....	58
9	Efecto de la interacción sustrato x envase en el porcentaje de patrón e2.....	59
10	Efecto de la interacción clon x sustrato en el porcentaje de patrón e2.....	59
11	Efecto de la interacción clon x envase en el porcentaje de patrón e2.....	60
12	Efecto de la interacción clon x envase x fitoregulador en el porcentaje de patrón e2.....	60
13	Efecto de la interacción clon x envase x sustrato en el porcentaje de patrón e2.....	61
14	Longitud radicular por proyección en función del envase utilizado.....	64
15	Longitud radicular por proyección en función del fitoregulador utilizado.....	65
16	Longitud radicular promedio por proyección.....	66
17	Longitud radicular por curvimetro en función del clon utilizado....	67
18	Longitud radicular por curvimetro en función del fitoregulador utilizado.....	67
19	Longitud radicular promedio por curvimetro.....	68
20	Número de raíces gruesas en función del clon utilizado.....	69
21	Número de raíces gruesas en función del sustrato utilizado.....	70
22	Número de raíces gruesas promedio por tratamiento.....	70
23	Peso seco radicular en función del clon utilizado.....	72
24	Peso seco radicular en función del fitoregulador utilizado.....	73
25	Peso seco radicular en función del sustrato utilizado.....	73
26	Efecto de la interacción clon x fitoregulador en el peso seco radicular.....	74
27	Peso seco radicular promedio por tratamiento.....	75
28	Peso seco aéreo en función del fitoregulador utilizado.....	76
29	Peso seco aéreo en función del sustrato utilizado.....	76
30	Efecto de la interacción clon x fitoregulador en el peso seco aéreo.....	77
31	Peso seco aéreo promedio por tratamiento.....	77

<b>Figura N°</b>		<b>Pag.</b>
1	Esquema de una planta originada de semilla.....	28
2	Esquema de una planta propagada por estaca.....	29
3	Fotografía del patrón de enraizamiento e1.....	44
4	Fotografía del patrón de enraizamiento e2.....	45
5	Fotografía del patrón de enraizamiento e3.....	46
6	Fotografía del patrón de enraizamiento e4.....	47
7	Fotografía del patrón de enraizamiento e5.....	48
8	Fotografía del patrón de enraizamiento s1.....	49
9	Fotografía del patrón de enraizamiento s2.....	50
10	Fotografía del patrón de enraizamiento s3.....	51

## 1. INTRODUCCION

Con la promulgación de la Ley N° 15 939 en el año 1987, el Uruguay ha experimentado en la última década un pujante impulso de la industria forestal, trayendo consigo importantes beneficios económicos y sociales para el país.

En dicho periodo los emprendimientos forestales supusieron la plantación de más de 200.000 ha. de bosques de rendimiento, y en la actualidad el área ocupada por nuevos bosques no cesa de extenderse ( Fuente: Dirección Forestal, 1998).

Es claro que en el país, se reconocen las posibilidades que presenta el mercado de productos forestales, así como nuestras ventajas comparativas para la producción forestal, obteniéndose crecimientos de algunas especies, fundamentalmente del género *Eucalyptus* y *Pinus*, superiores a las que se registran en su zona de origen, e iguales o mayores a las obtenidas en países que concurren también al mercado con árboles cultivados.

No obstante, las industrias forestales, así como los segmentos productivos en los países en desarrollo, son sometidos a un proceso de competitividad cada vez más intenso e íntimamente relacionado con la generación de productos que atiendan plenamente las demandas de los clientes y que al mismo tiempo, tengan un bajo costo y sean producidas sustentablemente con un mínimo impacto en el medio ambiente (Assis, 1996).

En este sentido, el mejoramiento genético asume gran importancia siendo una de las herramientas disponibles la propagación vegetativa incluyendo la macropropagación, micropropagación e ingeniería genética.

La propagación vegetativa presenta ciertas ventajas que la destacan sobre la metodología tradicional de producción de plantas; entre ellas la multiplicación de genotipos selectos, aprovechamiento de la interacción genotipo - ambiente, homogeneidad en la materia prima, aumento de la productividad de los bosques.

Antecedentes de macropropagación específicamente en el género *Eucalyptus*, se remontan a fines de la década del 30, comenzando las primeras investigaciones en algunos países europeos, Marruecos, Congo y Brasil. En función de los exitosos resultados experimentales obtenidos en dichos países, el uso de esta tecnología se ha difundido en el mundo.

En Uruguay es un fenómeno de reciente difusión, existiendo varias empresas forestadoras asentadas en el país que han iniciado tareas de investigación tendientes a la implementación de la forestación clonal, en emprendimientos a corto y mediano plazo.

De igual modo, el INIA una vez establecido su Programa Nacional Forestal en el año 1992, ha venido desarrollando investigaciones a los efectos de determinar las pautas para su desarrollo a escala industrial.

El presente trabajo, se inserta en el plan de acción de dicho Programa, teniendo como objetivo general evaluar el comportamiento de tres genotipos selectos de *Eucalyptus grandis* propagados vegetativamente por la técnica de estacas, priorizando el estudio en el sistema radicular, ya que una de las limitantes para su implementación se vincula con la problemática del enraizamiento y calidad del sistema radicular en los genotipos multiplicados.

Al respecto en diversos trabajos de investigación, se citan problemas en la performance "a campo" de los clones propagados debido a dificultades en el crecimiento relacionado a la arquitectura del sistema radicular (Mac Rae y Cotterill, 1997), así como a problemas de vuelco posiblemente debidos a una relación parte aérea - radicular elevada y/o a un sistema radicular poco vigoroso.

El ensayo en cuestión, vincula 24 tratamientos que resultaron de la combinación de los factores clon (3), hormona (2), sustrato (2) y envase (2); los que fueron puestos a enraizar en un invernáculo en condiciones ambientales controladas durante ocho semanas.

Los parámetros específicamente evaluados fueron, la identificación de los patrones de enraizamiento característicos encontrados, longitud por curvómetro, longitud por proyección, número de raíces gruesas y la biomasa a través del peso seco aéreo y radicular.

Adicionalmente, se instaló en un sombráculo un ensayo de plantas propagadas por semilla en las modalidades de siembra directa y repique, de forma tal de tener parámetros de variación del sistema radicular de mudas de *Eucalyptus grandis*, y compararlas con los parámetros de variación del sistema radicular en estacas.

## **2. REVISION BIBLIOGRAFICA**

### **2.1 PROPAGACION VEGETATIVA DE ESPECIES FORESTALES**

#### **2.1.1 Generalidades**

Las plantas poseen dos formas de propagación: sexual y asexual. La diferencia básica estriba en el proceso de fecundación que tiene lugar en el primero pero no en el segundo.

Una de las modalidades de propagación asexual es la apomixis, que consiste en la propagación a partir del desarrollo de uno de los gametos ( el óvulo ) sin fecundación o de una célula sin reducción, para formar semillas u órganos similares a éstas. La restante modalidad consiste en la propagación de partes vegetativas bien diferenciadas, implicando la multiplicación de genotipos idénticos, o sea la obtención de copias genéticas iguales al árbol madre.

El árbol donador, aquel del cual se han obtenido los propágulos vegetativos, se denomina ortet. Los propágulos individuales de un ortet, o de otros propágulos del mismo, se conocen como ramets. La totalidad de los propágulos que se originan de un ortet, se conoce en conjunto como un clon (Quijada, 1980).

La propagación vegetativa es una alternativa de reproducción, la cual tiene ciertas ventajas y limitaciones en su uso, según la especie utilizada. Los métodos de propagación son múltiples (injerto, acodos, cultivo de tejidos y órganos, estacas enraizadas), si bien en plantaciones comerciales forestales, el más utilizado y desarrollado es el de estacas enraizadas.

Tan pronto como las pruebas de un árbol, hayan demostrado que posee un buen genotipo (árbol selecto), puede utilizarse directamente en la reforestación operativa, a través de la propagación vegetativa, siempre y cuando las especies utilizadas presenten fácil enraizamiento o respondan a procedimientos cuyo objetivo es la estimulación de la capacidad de enraizar (Zobel y Talbert, 1992).

La multiplicación vegetativa, brinda una serie de ventajas en relación a la propagación por semillas, especialmente en aspectos de mejora genética, pues posibilita la transmisión de importantes características, que por su baja heredabilidad no se transmiten eficientemente a la descendencia por vía sexual (Gutierrez e Ipinza, 1992).

Es importante destacar, que la reproducción vegetativa no constituye un sustituto de la propagación por semilla, sino que es un complemento en la explotación de los mejores genotipos, previamente seleccionados, en un programa de mejoramiento (Assis, 1996).

La multiplicación clonal, permite obtener una ganancia genética superior y, además, utilizarla de inmediato en plantaciones, huertos semilleros o bancos clonales, mientras que la propagación convencional ( vía sexual ), sólo puede utilizar una parte limitada de la variación genética ( varianza aditiva ) y requiere de varias generaciones para lograr un incremento equivalente en la productividad (Lindgren,1977, Bonga, 1982).

## **2.1.2 Técnicas de propagación vegetativa**

### **2.1.2.1 Estacas o esquejes**

Las estacas son secciones separadas del árbol, las que son puestas a enraizar en un medio y condiciones apropiadas. Pueden ser de leño y de hojas; las primeras son provenientes de ramas o del fuste y son las mas importantes en el campo forestal. Las producidas a través de hojas son mas frecuentes en la producción de plantas ornamentales, particularmente en aquellas de consistencia carnosa.

En cuanto a las condiciones que debe poseer una estaca, las muy lignificadas brotan con dificultad y su enraizamiento se torna muy dificultoso, al igual que en estacas muy herbáceas. Por lo tanto, deberá tomarse una condición intermedia, particularmente cuando se planta directamente en el campo (Quijada, 1980).

### **2.1.2.2 Injertos**

Los injertos involucran la recolección de una parte vegetativa del árbol padre ( pua o injerto ) y su adhesión a una parte con raíz propia ( patrón o portainjerto ), para que ocurra la soldadura de tejidos.

Según la relación taxonómica entre patrón y pua, se dan los injertos heteroplásticos, si son de especies diferentes, y los injertos homoplásticos, si son de la misma especie. Esta última incluye los autoplásticos, si son del mismo genotipo (Quijada, 1980).

Es necesario para la implantación de esta técnica, la compatibilidad injerto-portainjerto, así como condiciones ambientales de temperatura, humedad y oxígeno para facilitar el desarrollo de tejido de cicatrización (Hartmann y Kester, 1974).

### 2.1.2.3 Acódos

En especies de difícil propagación por estacas o por injerto, el acodo constituye una alternativa a desarrollar.

El procedimiento consiste en provocar una herida en una sección del árbol y cubrirla con un medio, que favorezca el mantenimiento de humedad (musgo, tierra, etc.). En el proceso de cicatrización se produce la formación de callosidad, de la cual se pueden formar raíces adventicias.

Este proceso puede ser complementado con el uso de componentes hormonales, similar al caso de las estacas (Quijada, 1980).

La formación de raíces, depende de la provisión de continua humedad, buena aereación y temperaturas moderadas en la zona de enraizamiento (Hartmann y Kester, 1974).

### 2.1.2.4 Cultivo de tejidos

Según Zobel y Talbert (1992), el cultivo de tejidos es un método de propagación vegetativa que ha recibido una gran difusión e interés.

Consiste en el cultivo de tejidos a partir de células con potencial de actividad mitótica, en un medio adecuado y en condiciones de asepsia (Quijada, 1980).

Segmentos nodales, hipocótilos y hojas son utilizados como explantes para la micropropagación en *Eucalyptus*, lográndose formación de yemas y raíces satisfactoriamente. Los segmentos nodales deben presentar por lo menos una yema terminal o lateral (Sasson, 1988).

#### **2.1.2.5 Microestacas**

La microestaca es una técnica de propagación agámica, cuyo desarrollo y aplicación en el género *Eucalyptus*, tiene su origen en los trabajos realizados por Assis et al., (1992).

Se caracteriza primordialmente por la utilización de plantas rejuvenecidas "in vitro" ( micropropagación ), como fuente de propágulos vegetativos. Los ápices caulinares de éstas plantas son cortados y utilizados como microestacas, los cuales son colocados para enraizar en invernáculos con condiciones controladas de temperatura y humedad ( Assis, 1997).

Esta técnica de reciente aplicación, presenta resultados que si bien son experimentales, indicarían ciertas ventajas comparativas con respecto al método tradicional de propagación vegetativa por estacas, como ser en el aumento en el porcentaje de enraizamiento, principalmente en clones difíciles de enraizar, mejora en los rendimientos operacionales, uso más eficiente de los viveros, mejor calidad del sistema radicular y la emisión de raíces más temprana, entre otras ( Iannelli et al., 1997).

### **2.1.3 Ventajas de la propagación vegetativa**

Las mayores ventajas logradas con el uso de la propagación vegetativa en programas de forestación de especies del género *Eucalyptus* a gran escala, son sin duda la magnitud de las ganancias obtenidas en el proceso de selección y la velocidad con que estas ganancias pueden ser materializadas, o sea efectivamente transferidas para las industrias como beneficios cualitativos y cuantitativos (Assis, 1996).

#### **2.1.3.1 Multiplicación de genotipos selectos**

El uso de la propagación vegetativa, permite rescatar la ganancia genética aditiva y no aditiva, obtenida luego de un proceso de selección. Al seleccionar los mejores individuos para su propagación vegetativa, se obtienen rápidas ganancias genéticas; pero a expensas de una reducción importante de la variabilidad genética en la población (Carpinetti, 1996).

### **2.1.3.2 Uso comercial de la heterosis**

La viabilidad del aprovechamiento comercial de la heterosis, verificada entre varias especies de *Eucalyptus*, asociando varias características de interés (hibridación interespecífica), encuentran en la propagación vegetativa una herramienta útil para la fijación de esas características en el tiempo. Ejemplo de este beneficio, es la utilización de clones híbridos ocupando ambientes marginales, confiriendo resistencia a la sequía o al frío, incorporando resistencia a enfermedades. Así mismo, facilita el contar con plantaciones con características forestales e industriales de alta calidad (Assis, 1996).

### **2.1.3.3 Interacción genotipo - ambiente**

Al repetir un ensayo clonal en diversos sitios, se tiene la posibilidad de detectar a través de la interacción genotipo - ambiente, que clones se destacan para ciertas condiciones de sitio (Carpineti, 1996).

La correcta localización de los clones en base a resultados de campo, permite maximizar la producción. Al mismo tiempo que la identificación de clones que presentan poca interacción con el ambiente resulta en una producción forestal más estable (Assis, 1996).

### **2.1.3.4 Mayor uniformidad de los productos forestales**

La uniformidad fenotípica para un carácter determinado es quizás una de las principales contribuciones de esta técnica (Carpineti, 1996).

En forestaciones originadas de semillas, cada árbol es un individuo con características individuales, lo que resulta en una materia prima no uniforme. Con la propagación vegetativa se logra una homogeneización de la materia prima, optimizando su aprovechamiento en el proceso industrial (Assis, 1996).

Esta característica permite además una mayor eficiencia en la cosecha, lo que se traduce en un aumento productivo y en una disminución de los costos operativos (Denison y Kietzka, 1993).

### 2.1.3.5 Acortamiento del ciclo del cultivo

Al utilizar clones de alta productividad es posible mejorar la eficiencia en el uso de la tierra, ya que se puede acortar el turno de corta (Carpineti, 1996).

### 2.1.3.6 Aumento en la productividad forestal

La propagación vegetativa ha proporcionado resultados importantes, promoviendo aumentos de productividad volumétrica significativa en relación a las plantaciones realizadas a partir de semilla. Además se verifica una mejora en la calidad de la materia prima, que se traduce en un aumento de la productividad en los distintos segmentos de la actividad industrial.

Un ejemplo significativo de ello, es la producción de materia prima para celulosa, habiendo posibilitado un aumento en la productividad, siendo éstas ganancias provenientes de aumentos en volumen, en densidad de la madera y en rendimiento de celulosa (Assis, 1996).

Los resultados más notables se han logrado en el Congo y Brasil, donde se han instalado extensas plantaciones clonales a nivel comercial, de muy alta productividad (Carpineti, 1996).

En Aracruz, Brasil, usando esta técnica, se han propagado clones que han permitido aumentar el rendimiento de los bosques en un 112 %, obteniéndose plantaciones uniformes, con excelente poda natural, contenido de celulosa superiores al 50 %, e incrementos medios anuales por encima de 70 m<sup>3</sup>/ha (Zobel et al.; 1983 , García, 1984, citado por Gutierrez e Ipinza, 1992).

En Brasil también, pero en la empresa Champion Papel e Celulosa Ltda., usando clones de *Eucalyptus grandis* se logran incrementos de 35 m<sup>3</sup> a 45 m<sup>3</sup>/ha/año, en suelos latosólicos rojo amarillos, en la localidad de Mogi Guacu, S. P.; y de 37 m<sup>3</sup> a 46 m<sup>3</sup>/ha/año, en suelos oscuros latosólicos, en la localidad de Brotas, S. P. (J. Vieira et al., 1992).

En forma análoga, en el Congo, el promedio de productividad se mejoró en menos de 10 años desde 7-10 m<sup>3</sup>/ha/año hasta 40-45 m<sup>3</sup>/ha/año, como resultado de la silvicultura clonal de híbridos de especies de *Eucalyptus* (Franclet, 1983, citado por Gutierrez e Ipinza, 1992 ).

## **2.1.4 Desventajas de la propagación vegetativa**

### **2.1.4.1 Reducción de la diversidad genética**

El utilizar un solo clon en una plantación conlleva a un riesgo grande, ante una enfermedad o plaga, ya que no existe diversidad genética para salvar parte de la plantación, en caso de ser susceptible el clon.

El uso de plantaciones policlonales, es una alternativa válida para reducir los riesgos de una reducción de diversidad genética, o bien el uso de mosaicos de clones puros de 10 a 20 ha (Zobel y Talbert, 1984, citado por Carpineti, 1996).

Como ejemplo de lo anterior, en la empresa Aracruz, se adopta el uso de 15 clones en cada plantación, los cuales se disponen en forma de bloques monoclonales de 10 a 20 ha cada uno, en plantaciones de por lo menos 1000 ha, comunmente llamadas plantaciones en mosaicos.

El número de clones apropiado a usar dependerá de la especie, la longitud de la rotación, características del sitio, la pureza genética y la variación y amplitud de adaptabilidad dentro del clon (Zobel y Talbert, 1992).

En la actualidad se maneja el uso de 5 a 100 clones según la disponibilidad del material genético, para asegurar una forestación clonal adecuada (Bennadji, com. pers.).

### **2.1.4.2 Mayor interacción con el ambiente**

Dentro de la escala de posibilidades de interacción con el medio ambiente, una forestación clonal presenta una situación extrema, requiriendo mayores cuidados en la evaluación y posterior distribución de los clones en los ambientes más adecuados; pudiendo ocurrir pérdida de la productividad en el caso de plantaciones de clones poco plásticos en sitios no apropiados.

No obstante esto último, una correcta localización de los clones en base a resultados experimentales de campo, permite maximizar la producción transformando una desventaja en ventaja (Assis, 1996).

### **2.1.4.3 Conocimiento técnico y mayores costos de producción de plantas**

La propagación vegetativa presenta ciertas particularidades en relación al método de reproducción por semilla, requiriendo un conocimiento técnico

especializado o entrenamiento específico del personal a cargo, en función de las exigencias tecnológicas requeridas al implementar esta técnica (Assis, 1996).

Las plantas obtenidas por reproducción vegetativa, tienen un costo superior a aquellas obtenidas por semillas, en función de ser necesarias condiciones ambientales controladas para el desarrollo radicular, lo que supone contar con infraestructura adecuada.

Conforme se desarrollen más métodos y se obtenga experiencia, los costos de los propágulos vegetativos pueden disminuir considerablemente (Kleinschmit y Schmidt, 1977, citado por Zobel y Talbert, 1992).

Según Traverso (1987), citado por Carpineti, 1996, el costo de una estaca es generalmente el doble que de una planta de semilla y una planta micropropagada cinco veces ese valor.

En la actualidad, el costo de las plantaciones clonales, continúa siendo superior al de las plantaciones tradicionales; no obstante, es valedero argumentar que si el incremento en el valor del producto obtenido lo justifica, no sería esto un costo sino una inversión productiva (Carpineti, 1996; Assis, 1996).

Normalmente es preciso contar con instalaciones sofisticadas, como ser estufas o invernáculos climatizados, utilizar hormonas, además de ser necesario la implantación y manejo intensivo de bancos clonales para la producción de estacas (Assis, 1996).

## **2.2 ANTECEDENTES**

### **2.2.1 Antecedentes en el mundo**

Los primeros antecedentes de propagación vegetativa específico para *Eucalyptus*, corresponden a los trabajos de Larina, en *E. vitriodora* en Rusia, en el año 1939. En el mismo año otro ruso, Ivashchenko, logra propagar *E. tereticornis* y *E. cinerea* por estacas, obteniendo un 40 % de enraizamiento.

En el año 1956 en Marruecos, Franclet enraiza clones de *Eucalyptus camaldulensis* y a él le siguen Giordano en Italia, en el año 1960 y Pryor y Willing en Australia en el año 1963. Montaldi y Marcavillaca realizan trabajos similares en Argentina en el año 1964.

Hasta ese momento, los trabajos fueron puntuales y académicos, pero ya en el año 1969 Martin, inicia sus trabajos de propagación en el Congo, Brazzaville en el Centre Technique de Forestation Tropical ( C.T.F.T ).

En el año 1970, Paton y Willing, describen la acción de los inhibidores del enraizamiento ( factor G ), abriendo nuevos rumbos en la investigación (Carpinetti, 1996).

En el período 1967-1974, en zonas tropicales de Brasil, dada la ocurrencia de cancro en extensas áreas implantadas con bosques de *Eucalyptus*, se intensificaron los estudios de selección de especies y procedencias, despertando interés los estudios de reproducción asexual, aprovechando en algunos híbridos la resistencia al cancro que éstos expresaban, así como otras características ( Ferreira y Santos, 1997).

Davidson, en el año 1973, es el primero en lograr el enraizamiento a gran escala con *Eucalyptus deglupta*, en Papua, Nueva Guinea. Trabajos similares y exitosos se continúan en el Congo y Brasil.

Poggiani y Suiter ,1974 , citado por Ferreira y Santos, 1997, estudiando el enraizamiento de estacas en invernáculo, establecieron simultaneamente con estudios llevados a cabo en Francia y el Congo, las bases para la macropropagación vegetativa.

En 1976, las empresas forestales que actuaban en zonas húmedas y semi-húmedas de Brasil, procuraron establecer estrategias de mejoramiento forestal mediante reproducción sexual y asexual (Ferreira y Santos, 1997).

Con las técnicas conocidas en el Congo, en 1977 se logra la producción masiva de *Eucalyptus* híbridos en el C.T.F.T., gracias al trabajo de Martin, Guillet, Laplace, Delwaulle , Chaperon y Vigneron, marcando éste hecho la difusión masiva de una tecnología perfectamente ajustada.

En éste mismo año, en Argentina, se reanudan los estudios sobre la técnica de macropropagación, demostrando los Ing. Agr. Marcó y Glade, la factibilidad de usar ésta tecnología en una cabina de propagación de diseño propio ( Carpinetti, 1996).

En el año 1979, se logran implantar 3000 ha de *Eucalyptus* en el Congo, y en Brasil a través de la empresa Forestal Aracruz, se realiza la primera plantación clonal a nivel comercial de *Eucalyptus*, abarcando 1000 ha en la localidad de Aracruz, estado de Espirito Santo ( Ferreira y Santos, 1997 ).

A principios de la década del 80, en Sudáfrica, dado los buenos resultados obtenidos en Brasil, incentivaron a importantes forestadoras a implementar programas de mejoramiento basados en la propagación vegetativa, a los efectos de ofrecer un producto uniforme y de calidad. Tal es el caso de la empresa Mondi, cuyo programa clonal operacional está confinado a las especies de *Eucalyptus* sub-tropicales que comprenden, *Eucalyptus grandis*, y sus híbridos con *Eucalyptus camaldulensis*, *Eucalyptus tereticornis* y *Eucalyptus urophylla*.

Para satisfacer los requerimientos de Mondi, se desarrolló un vivero clonal con una producción anual de 10 millones de estacas. La tendencia fue a seleccionar clones de temprano rendimiento y buena habilidad de enraizamiento, incluyendo criterios tales como: resistencia a enfermedades, buenas propiedades de la madera para la uniformidad de la pulpa, su rendimiento y calidad, como también a la adaptación a un amplio rango de ambientes ( Denison y Kietzka, 1993 ).

Debido a los excelentes resultados obtenidos en Brasil, Congo y Sudáfrica, las experiencias se continúan en varios países, como ser España, Portugal, Italia, India, Marruecos, Estados Unidos ( Carpineti, 1996).

En 1985, en Portugal, la compañía Stora Celbi inició un programa de forestación clonal, con el objetivo de capturar ganancias genéticas, mejorando individualmente algunos árboles de la especie *Eucalyptus globulus*, como así familias de la misma especie, siendo que, todas las plantaciones de las compañías forestadoras se realizaban con árboles genéticamente mejorados. En el período 1985 - 1992, la estrategia de clonación, fue la de producir clones de árboles genéticamente superiores de *Eucalyptus globulus*, mediante la técnica de estacas. Probablemente, es la primera empresa en producir estacas de *Eucalyptus globulus* en el mundo a escala industrial ( Mac Rae y Cotterill, 1997).

En Marruecos, en 1987, el comienzo de un importante programa de mejoramiento, introdujo la forestación clonal, tendiendo actualmente a ser realizadas todas las plantaciones utilizando la técnica de propagación de estacas, predominando la especie *Eucalyptus camaldulensis* ( Marien, 1991 ).

En 1988 - 1989, en Portugal, se llevaron a cabo estudios con 500 árboles "plus" de segunda generación, que fueron seleccionados y luego talados en la compañía Stora Celbi, de unos ensayos de progenie, para ser luego macropropagados a partir de los rebrotes. La capacidad de enraizamiento obtenida en esas estacas osciló en un rango de 19 % a 85 %, y solo siete clones



fueron suficientemente buenos en producir raíces para la producción comercial, considerándose un enraizamiento por encima del 70 % ( Wilson y Pereira, 1992, citado por Mac Rae y Cotterill, 1997).

Empresas importantes como la APPM de Australia, y ENCE de España, entre otras, exhiben programas operativos propios en la especie *Eucalyptus globulus* ( Gutierrez e Ipinza, 1992).

En Argentina, a partir de los años 90, la micro y macropropagación se integran a un plan de mejora forestal. Actualmente el Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria Castelar y las Estaciones Experimentales Agronómicas Concordia y Bella Vista en Corrientes, trabajan en micro y macropropagación de diversas especies de *Eucalyptus*. En la Universidad de la Plata y en la Universidad de Cuyo, existen también grupos de investigación que utilizan estas técnicas en *Eucalyptus*.

Entre las empresas privadas, Forestadora Tapebicué trabajó en las técnicas de macropropagación desde la década del 80, en experiencias piloto, hasta la actualidad; en que ya ha desarrollado una tecnología eficaz que le permitirá, en poco tiempo, plantar las primeras hectáreas clonales de *Eucalyptus grandis*. También la Empresa Iberpapel Argentina S.A., está trabajando actualmente en la propagación de *Eucalyptus globulus*, en la localidad de Colón (Carpineti, 1996).

En 1992, la compañía Stora Celbi de Portugal, realizó durante todo el año la propagación vegetativa por estacas de *E. globulus* a partir de plantas madres, lográndose en promedio un enraizamiento superior al 70 %, por al menos ocho meses en el año ( Mac Rae y Reis, 1997 ).

Assis et al.(1992), citado por Ferreira y Santos, 1997, inician estudios sobre la técnica de microestacas, técnica que se caracteriza por la utilización de plantas rejuvenecidas "in vitro", como fuente de propágulos vegetativos, siendo hoy el objetivo mayor de las empresas mas importantes del sector, en virtud de los beneficios que genera.

Años mas tarde Assis e Iannelli, señalan que la propagación vegetativa a través de estacas, a pesar de su evolución se caracteriza por bajos índices de enraizamiento, bajos índices de aprovechamiento final de las estacas, exige grandes áreas para las plantas madre, mayor tiempo de enraizamiento y presenta mayor susceptibilidad a enfermedades.

## **2.2.2 Antecedentes en el Uruguay**

### **2.2.2.1 EUFORES S.A ( Filial de ENCE Española).**

Infomación brindada por la propia empresa, indica que ha venido desarrollando en el Uruguay un proyecto de selección, clonación y multiplicación de árboles superiores de *Eucalyptus globulus ssp. globulus* y *ssp. maidenii*.

Al respecto, hasta el momento se ha evaluado la capacidad de enraizamiento en 65 clones de las especies de interés en el proyecto procedentes de establecimientos de dicha empresa. Los resultados obtenidos, indican que el total de clones enraizados fueron 39, de los cuales, únicamente 21 clones mostraron un enraizamiento superior al 5%; siendo el valor máximo registrado del 25 %.

Los tratamientos usados correspondieron a dosis de bioregulador diferente; en estado líquido a 1000, 1500 y 3000 ppm, y en estado sólido ( en talco ) a 1500 ppm; habiéndose comportado mejor hasta el momento la dosis de 1000 ppm.

### **2.2.2.2 Programa Nacional Forestal - INIA (Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria)**

A inicios de 1992, el INIA ( Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria ) crea su Programa Nacional Forestal respaldado por un convenio quinquenal de cooperación técnica con JICA ( Agencia de Cooperación Internacional del Japón ); coincidiendo con el auge del sector, consecuencia de la promulgación de la Ley forestal Nº 15.939 y sus sucesivos decretos.

Los lineamientos generales se inclinaron hacia el mejoramiento genético con énfasis en las especies de prioridad forestal, de forma tal de producir material vegetal ( semilla y clones ) con grado de mejora progresivo para abastecer al sector forestal y liberar al país de la importación; siendo la meta final la obtención de razas locales para las principales especies de prioridad forestal.

Entre sus objetivos específicos, el Programa previó la implementación de pautas para el desarrollo de la forestación clonal en Uruguay.

Las actividades programadas se centraron en un inicio en el establecimiento de un banco clonal modelo de *Eucalyptus grandis*, a través del desarrollo de técnicas de macropropagación y micropropagación.

Dentro de las técnicas de macropropagación iniciadas desde 1993 a la fecha, se desarrollaron los métodos de estacas, acodos, injertos, siendo el primero el más utilizado.

Los diversos tratamientos evaluados, fueron combinaciones de diferentes sustratos, envases, concentraciones hormonales y condiciones ambientales ( bajo sombreado, al aire libre, en invernáculo); siendo los parámetros evaluados : sobrevivencia de estacas, formación de callos, porcentaje de enraizamiento, tipo y tamaño de raíces formadas.

Del análisis de los ensayos en su conjunto, se ha concluido que: la aptitud de enraizamiento varía entre especies y en proporción considerable entre clones de la misma especie, lo cual hace de ésta variable un criterio de selección apreciable en el esquema de mejora de la especie; las condiciones óptimas de enraizamiento en el año corresponden a primavera y a principios del otoño; en condiciones óptimas de producción de estacas, es esperable un 80% de enraizamiento.

### **2.2.3.2 Otras empresas**

Otros emprendimientos vienen realizándose a través de firmas nacionales y extranjeras, que ya cuentan con sus primeras plantaciones clonales, tal es el caso de Compañía Forestal Uruguay S.A. (COFUSA), Forestal Oriental (Kymmene de Finlandia - Shell).

## **2.3 CONCEPTOS BASICOS DEL SISTEMA RADICULAR**

### **2.3.1 Definición**

La raíz constituye la parte subterránea del eje de la planta, especializado en absorción de sustancias, reserva y como órgano de fijación o sostén (Esau, 1972).

### **2.3.2 Crecimiento inicial de la raíz**

Por crecimiento, Sivori et al. (1980), entienden al aumento irreversible de volumen de una célula, tejido, órgano u individuo generalmente acompañado de un aumento en masa; implicando este proceso tres fases: división celular, expansión de las células resultantes y diferenciación posterior.

Bien es sabido que durante el crecimiento de una planta, se producen muchos cambios cuantitativos y cualitativos que constituyen su desarrollo; por lo que crecimiento y desarrollo se cumplen en forma armónica y paralela, es decir que la planta se desarrolla a medida que crece (Sivori et al., 1980).

El crecimiento en las plantas se origina en ciertas zonas denominadas meristemas, los que se definen como conjuntos de células que permanecen indiferenciadas y que retienen capacidad mitótica (Córdoba, 1976).

Los meristemas apicales o primarios son los responsables del crecimiento en longitud, y a nivel radicular presentan una posición subapical, pudiendo ser dividido en dos regiones denominadas promeristemo y zona meristemática (Fahn, 1974).

El promeristemo está constituido por células iniciales y sus derivadas cercanas; en donde la célula inicial se divide, y una de las células hijas continúa desempeñando la función de la célula madre, mientras que la otra, tras varias divisiones forma una línea que se diferencia y madura.

La zona meristemática se encuentra parcialmente diferenciada y está representada por los siguientes meristemas: el protoderma que dará origen a la epidermis, el procambium que dará origen a los tejidos vasculares (xilema y floema primarios) y el meristema fundamental a partir del cual se desarrollan los tejidos fundamentales: parénquima, esclerénquima y colénquima (Sivori et al., 1980; Fahn, 1974).

### **2.3.3 Anatomía del sistema radicular**

Tal como surge del punto anterior, a partir del meristema apical de la raíz, se definen los meristemas primarios (protoderma, procambium y meristema fundamental) que se diferencian más tarde, completando el crecimiento primario y su estructura.

En ciertas circunstancias, como ser en la mayoría de las dicotiledóneas y Gimnospermas, se da un crecimiento secundario a través de meristemas laterales (cambium y felógeno) modificándose la estructura inicial.

### 2.3.3.1 Estructura primaria

La estructura primaria de la raíz se compone de cuatro regiones bien definidas, la cofia o caliptra, la epidermis, el córtex y el cilindro vascular.

La caliptra es una estructura constituida por células parenquimáticas vivas, que protege al meristemo radical y ayuda a la raíz en su penetración al suelo durante el crecimiento (Guttenberg, 1940, citado por Esau, 1972).

La epidermis es la capa más externa de la raíz, típicamente uniestratificada, siendo una característica el desarrollo de pelos. Estos suelen desarrollarse en una región restringida a unos pocos centímetros del ápice radicular, faltando a nivel del meristemo apical y normalmente muertos en las partes más viejas de la raíz (Cormack et al, 1963).

Rodeando internamente a la epidermis, se encuentra el córtex, constituido fundamentalmente por tejido parenquimático, y diferenciado en su capa más interna como endodermis; tejido uniestratificado de importancia en relación con el movimiento de sustancias absorbidas por la raíz y caracterizado por presentar bandas de Caspary, provistas de lignina y suberina (Esau, 1972).

A menudo las raíces desarrollan una capa especializada, la exodermis; ubicada por debajo de la epidermis, considerado como tejido protector compuesto de suberina (Fahn, 1974).

El cilindro vascular constituye la parte central de la raíz y se encuentra ocupada por el sistema vascular y parénquima asociado. El sistema vascular, se dispone de manera compacta y lo rodea externamente una zona de tejido uni o pluriestratificado denominada periciclo; el que en Angiospermas y Gimnospermas esta relacionado con las actividades meristemáticas, siendo el origen del desarrollo de raíces laterales, del felógeno y parte del cambium vascular en raíces con crecimiento secundario (Guttenberg, 1943; Ogura, 1938, citado por Esau, 1972).

El floema radical se presenta en forma de cordones distribuidos cerca de la periferia del cilindro vascular, por debajo del periciclo. En tanto que el xilema, forma cordones que alternan con los floemáticos, u ocupan también el

centro. De no diferenciarse el xilema en el centro, éste queda ocupado por la médula.

La raíz presenta xilema exarco, madurando sus elementos en sentido centripeto, puesto que el xilema más precoz, llamado protoxilema, se localiza cerca de la periferia del cilindro vascular y más tarde el metaxilema en el interior. En el floema, la diferenciación también es centripeta (Esau, 1972).

### 2.3.3.2 Estructura secundaria

En las raíces como en los tallos consiste en la formación de tejido vascular secundario a partir del cambium vascular, y la formación de peridermis a partir del felógeno (Ziliani y Laguardia, 1992).

El cambium vascular tiene su origen por divisiones de células procambiales que permanecen indiferenciadas entre el floema primario y secundario, como también a partir de células del periciclo. Este tejido produce células de floema y xilema por divisiones periclinales y aumenta la circunferencia por divisiones anticlinales.

En cuanto a la formación de la peridermis, células pericíclicas se dividen periclinalmente y anticlinalmente, y junto con el aumento en espesor de los tejidos vasculares, fuerza a la corteza hacia afuera.

En la parte exterior del periciclo tiene su origen el felógeno, meristemo lateral a partir del cual se desarrolla la peridermis (Esau, 1982).

Como resultado del proceso de crecimiento secundario, Ziliani y Laguardia (1992) comentan que:

- la epidermis es sustituida por la peridermis.
- la corteza es reducida o ausente según el felógeno se origine superficial o profundo.
- la región vascular presenta un cilindro externo de floema, la zona cambial y un macizo central de xilema.
- la raíz secundaria carece de médula.

## **2.3.4 Funciones**

### **2.3.4.1 La raíz como órgano absorbente**

La absorción de agua y sales se realiza principalmente en las partes jóvenes de la raíz.

Sólo una pequeña cantidad de agua penetra a través de la cofia y el meristema apical (Kramer, 1945; Brouwer, 1959, citado por Esau, 1972); evidenciándose en pruebas experimentales que la máxima absorción de agua se daría en la región donde el xilema primario se encuentra casi completamente maduro. Los pelos radicales considerados como estructuras que aumentan la superficie de absorción de las raíces, alcanzan su máximo desarrollo en dicha región.

### **2.3.4.2 La raíz como órgano de reserva**

En las raíces primarias se almacenan las sustancias de reserva, principalmente almidón en el córtex. En condiciones de presentar crecimiento secundario, las sustancias de reserva se almacenan en el parénquima, y en el esclerénquima del floema y xilema secundario (Fahn, 1974).

Adaptaciones especiales para el almacenamiento de sustancias se expresa en el desarrollo de cuerpos carnosos en determinadas partes del sistema radicular (Esau, 1972).

### **2.3.4.3 La raíz como órgano de fijación**

La función de anclaje de la raíz en el suelo es facilitada por rasgos estructurales tales como la ramificación lateral a partir de una raíz axonomorfa y por el desarrollo de raíces adventicias en un sistema radicular fasciculado; por el crecimiento de pelos radicales de importancia en raíces jóvenes, o el desarrollo de tejidos esclerificados en el centro de raíces jóvenes y por el desarrollo de esclerénquima en raíces viejas (Fahn, 1974).

## 2.4 SISTEMA RADICULAR EN ESTACAS

Según Andrade y Damiao Filho, 1989, citado por Janelli et al, 1997, los plantines producidos por técnicas de reproducción vegetativa presentan un sistema radicular conformado por raíces adventicias, pues éstas no nacen de la radícula. El término adventicio se refiere a cualquier órgano que se desarrolla a partir de tejidos adultos y no tejidos embrionarios o meristemáticos. Esta particularidad implica la no existencia en este tipo de plantines de una raíz principal que ejerza función de fijación, por lo que resulta imprescindible lograr un sistema radicular vigoroso al implementar esta técnica.

Esau (1972), considera la dependencia de ramificaciones o de raíces adventicias según el sistema radicular, ramificado o fibroso respectivamente para la firme unión al suelo, especificando que mediante un sistema radicular fibroso, si bien se penetra en el suelo menos profundamente, se une a la superficie más intensamente.

En general, los autores concuerdan en que los mecanismos de formación de raíces adventicias no está claro, siendo muchos los procesos vinculados en su inducción y desarrollo, aumentando así las dificultades.

Las características deseables del sistema radicular como vigor, uniformidad, volumen, aspecto y formato, parecen ser fundamentales para un mejor desarrollo de los plantines.

Los criterios que pueden ser utilizados para evaluar la formación del sistema radicular de estacas, incluyen, el número de raíces por estaca, la distribución de las raíces y la masa de raíces por estaca ( Doran et al, 1992, citado por Janelli et al, 1997).

Estudios llevados a cabo en Portugal, para la especie *Eucalyptus globulus*, evidenciaron diferencias fundamentales en la estructura de la raíz entre plantas propagadas por estacas y semilla, lo que se traduce en un inferior crecimiento en los primeros meses de evaluación a campo de las estacas, probablemente debido a la estructura de la raíz y al índice de área foliar. El sistema radicular de plantas originadas por semilla presentan una mayor extensión y una menor proporción parte aérea / raíz.( Sasse and Sands, 1995, citado por Mac Rae y Cotterill, 1997 ).

Sasse y Sands (1997), en un estudio comparativo similar determinan que las raíces adventicias individuales, definidas como primarias en estacas, presentan mayor largo y diámetro promedio que aquellas provenientes de plantas

de semilla, no obstante lo cual, la longitud total de raíces primarias es mayor en plantas de semilla como también un mayor número y longitud total de raíces secundarias.

#### **2.4.1 Aspectos fisiológicos de raíces adventicias**

No todas las especies poseen la misma capacidad de enraizar. Algunas lo hacen con dificultad, mientras que otras emiten raíces abundantes y con facilidad.

Este tipo de raíces se forman a partir de ciertos grupos de células, las iniciales, cuyo desarrollo da lugar a primordios radicales que posteriormente crecen y las constituyen.

Las estacas pueden presentar estructura primaria o secundaria, con diversos grados de lignificación. Cuando la estructura es primaria, las iniciales se forman sobre los lados de los haces vasculares, y durante el desarrollo de los primordios se constituye en su interior el sistema vascular que se conecta posteriormente con el de la estaca. El ápice de la nueva raíz adventicia atraviesa el parénquima cortical y la epidermis, o bien se dirige hacia la parte basal y sale al exterior ( Sivori et al., 1980).

Stangler, 1956, señala que a menudo el sitio donde se realizan las primeras divisiones que formarían el primordio de la raíz en tallos se identifica como periciclo. Esta región en su origen es floema primario. Algunos autores afirman que las raíces adventicias se originan en la región floemática (Petri et al., 1960; Satoo, 1955; Satoo y Fukuhara, 1955, citado por Esau, 1972).

En los casos de estacas de estructura secundaria, el cambium es de forma cilíndrica y está rodeado hacia el exterior, por el liber, el felógeno y la corteza. Las iniciales se constituyen normalmente en el cambium, y cuando existe un felógeno bien desarrollado como en las leñosas, aquellas se producen por lo común a partir de éste. No obstante, puede ocurrir en otras zonas como ser la médula.

En general, el origen de las raíces adventicias no es preciso, sino que varía según la especie y las circunstancias. Independientemente de ello, el origen de éstas ya sea en la región interfascicular, en el cambium o proximidades del mismo, sitúa a la raíz joven cerca del xilema y el floema del eje principal y facilita el establecimiento de la conexión vascular entre los dos órganos (Sivori et al., 1980).

Es común que, antes de la formación de los primordios radicales se constituyan callos sobre el corte del tejido, o sea en la base de la estaca. El callo, constituye una masa de células parenquimáticas en diversos estados de lignificación, y su crecimiento se origina de las células de la región del cambium vascular y el floema adyacente, si bien células de la corteza y de la médula también pueden contribuir en su formación (Hartmann y Kester, 1974).

Las células iniciales no se forman sobre los callos, sino en la base de éstos, al parecer a partir del tejido original de la estaca, lo que indica que son dos procesos simultáneos y no dependientes uno de otro. ( Sivorì et al., 1980 )

#### **2.4.2 Características de enraizamiento**

Uno de los obstáculos más serios para el uso operativo de las estacas se vincula con la gran variabilidad encontrada en cuanto a la capacidad de enraizamiento, lo que reduce su utilidad para un gran número de genotipos de otra manera excelentes, en función del escaso nivel de enraizamiento logrado en los mismos ( Zobel y Talbert, 1992).

A nivel de vivero tiene principal interés la realización de test que evalúen calidad de la raíz y el porcentaje de estacas enraizadas, siendo éstos dos parámetros claves para el éxito comercial. Como ejemplo, para *Eucalyptus spp.*, se considera un enraizamiento de 75 %, para su uso en los programas de plantación. (Campinhos e Ikemori, 1980, citado por Zobel y Talbert, 1992).

Es una regla que exista variabilidad clonal para los parámetros anteriormente mencionados, la cual se manifiesta entre especies y dentro de especies.

Según Adendorff y Schon (1991), los factores determinantes de esa variabilidad son, diferencias genéticas, climáticas, estacionales, juvenilidad del material a propagar y el sistema de vivero ( tratamientos, régimen de temperatura, temperatura del sustrato, porcentaje de sombramiento, humedad, tipo de sustrato, número de hojas en la estaca y tamaño de las hojas ).

De acuerdo a información aportada por varios investigadores (Jesinger y Hopp, 1967; Alden et al., 1977; Kramer y Kozłowski, 1979; Rauter, 1982, 1985) recopilada por Menzies (1992), los factores que se consideran involucrados en el enraizamiento de estacas, pueden agruparse en endógenos y exógenos.

**Factores endógenos:** Especie, edad del material a propagar, posición del propágulo en el donante, tipo y tamaño de los propágulos, contribución de hojas y brotes axilares, época de colecta.

**Factores exógenos:** Sustrato de enraizamiento, condiciones ambientales, hormonas de enraizamiento, tratamientos especiales.

#### *Especie:*

Diferentes especies de *Eucalyptus*, y diferentes clones de una misma especie proporcionan resultados variados en el porcentaje de enraizamiento y calidad de raíz ( Campinhos e Ikemori, 1983; Hartney, 1980; Ygboanugo, 1987, citado por Adendorff y Schon, 1991).

#### *Edad:*

Los tejidos fisiológicamente maduros tienen un menor porcentaje de enraizamiento, tardan mas en iniciar el desarrollo de las raíces y originan un menor número de raíces que el material fisiológicamente juvenil (Zobel y Talbert, 1992).

Es un hecho probado que las estacas confeccionados con brotes regulares de árboles de edad superior a 4 o 5 años difícilmente forman raíz.( Durand - Creswell et al., 1982 ). Por lo mismo, se ha utilizado con éxito la manipulación del estado juvenil a través del uso de retoños de tocón ( Campinhos e Ikemori, 1983, Chaperon y Quillet, 1978; Mc. Comb y Bennet, 1986 ), plantas jóvenes ( Hartney, 1980; Rauter, 1983; Zobel y Talbert, 1984 ), setos ( Zobel y Talbert, 1984 ), brotes desarrollados con púas de injertos ( Franclet, 1983; Heth et al., 1986 ) y brotes desarrollados en estaquillas previamente enraizadas ( Chaperon, 1983; Franclet, 1983).

Comparativamente, las estacas crecen en general más lentamente que las plántulas ( origen de semilla). Sin embargo, mucho depende de la edad del árbol donador, que tan completo sea el sistema radicular de la estaca y como fueron manipulados ambos antes del trasplante (Zobel y Talbert, 1992).

#### *Posición del propágulo en el donante:*

La posición del propágulo en el donante tiene interés, en el sentido que aquellas estacas que provienen de ramas generalmente enraizan mejor que aquellas extraídas de tallo, además al aumentar la altura a la cual son extraídos, la habilidad de enraizamiento decrece. Debido a ello son de preferencia

porciones basales de los brotes, con respecto a secciones terminales probablemente debido a la acumulación de carbohidratos en la base (Menzies, 1992).

#### *Tipo y tamaño de los propágulos:*

El tamaño de los propágulos, en diversos trabajos experimentales para *Eucalyptus*, oscila entre 10 a 15 cm de longitud. Se entiende que cuanto más grandes son las estacas mayores son las reservas, por consiguiente las posibilidades de éxito (Thompson, 1990).

#### *Contribución de hojas y brotes axilares:*

La presencia de hojas en las estacas ejerce fuerte influencia estimuladora en la formación de raíces. Los carbohidratos que resultan de la actividad fotosintética de las hojas sin duda contribuyen, sin embargo, los efectos estimulantes de las hojas y las yemas se deben principalmente a la producción de auxinas (Hartmann y Kester, 1974).

Varios trabajos, coinciden en que deben eliminarse las hojas inferiores, permaneciendo las superiores que han alcanzado un tamaño definitivo. Generalmente son dos hojas, las cuales se cortan transversalmente, de forma tal de evitar excesiva transpiración, la sobreposición, condiciones más favorables al desarrollo de organismos patógenos, y reducción de la fotosíntesis (Sivori, 1980; Ipinza y Gutiérrez, 1992).

En estacas de tallo de *Eucalyptus grandis*, la ausencia de hojas es perjudicial, siendo el óptimo de área foliar que favorece al enraizado de 2 a 5 cm<sup>2</sup>. Los brotes axilares en la base de las hojas, comienzan a desarrollarse después de que las estacas son colocadas en un medio determinado, y su crecimiento es promovido por la presencia de la hoja fuente. El rápido crecimiento de los brotes se asocia a una baja tasa de abscisión de la hoja fuente y a una alta tasa de rizogénesis (Wilson, 1994).

#### *Época de colecta:*

Con referencia a la época de colecta, ésta resulta importante en el caso de especies difíciles de enraizar. En *Eucalyptus* se entiende conveniente extraer los propágulos en los meses de julio - agosto, ya que la actividad de la planta se ve reducida.

#### *Sustrato de enraizamiento:*

Las estacas de muchas plantas enraizan con tal facilidad que hay poca diferencia en que medio se utilice. En plantas de enraizamiento más difícil como es el caso de especies de *Eucalyptus*, el medio de enraizamiento puede influir considerablemente, no solo en el porcentaje de estacas que enraicen, sino también en el tipo de sistema radicular que se forme (Hartmann y Kester, 1974).

La estructura física de los materiales puede afectar el microambiente alrededor de la base de las estacas, particularmente con respecto a los contenidos de aire y humedad, es conocida la influencia de ambos factores en la formación de raíces de las estacas (Hartmann y Kester, 1975; Loach, 1988, citado por Carter y Slee, 1991).

El sustrato ideal, como medio de enraizamiento debe cumplir las siguientes condiciones: ser suficientemente poroso para permitir buena aireación, con capacidad elevada de retener agua, pero al mismo tiempo bien drenado, y con una temperatura entre 20° y 25° C (Hartmann y Kester, 1974). Al respecto, Romberger, 1963, citado por Sutton, 1969, afirma que el crecimiento radicular está afectado entre otros factores por temperaturas extremas del sustrato o por diferencias de oxigenación en la zona radicular.

#### *Condiciones ambientales:*

Existe consenso entre múltiples autores en que estas deben considerar una alta humedad relativa del aire que rodea a los esquejes y condiciones cálidas en la base de éstos. Este gradiente de temperatura permite mayor actividad en la base y minimiza la transpiración y estrés hídrico en la parte superior de la estaca. Por otra parte, la utilización de lloviznas o nebulizaciones intermitentes, que mantengan constantemente humedecida la superficie de las hojas, son esenciales para un enraizamiento exitoso (Chaperon, 1983; Poggiani y Suiter Filho, 1974, citado por Gutierrez e Ipinza, 1992).

El sistema de nebulización consiste en la instalación de picos pulverizadores dentro del invernáculo los que automáticamente mantienen una niebla permanente de agua sobre el material plantado; y de esa manera las estacas, en un ambiente bien aireado conservan una turgencia óptima ( Sivori et al., 1980 ).

### *Hormonas de enraizamiento:*

Se ha demostrado que el uso de promotores de enraizamiento contribuye a inducir la regeneración de raíces. En el caso de *Eucalyptus spp.* se pueden obtener altas tasas de enraizamiento tratando las estacas con ácido naftalenacético ( ANA ) o ácido indolbutírico ( IBA ) ( Jagadesh y Adkoli, 1987; Ye , 1984, citado por Gutierrez e Ipinza, 1992 ).

El ácido indolbutírico posee una moderada actividad auxínica, hecho que permite utilizarlo en una gama de concentraciones relativamente amplia ( 10 a 5000 ppm ) sin causar efectos fitotóxicos ni inhibir el crecimiento caulinar. El ácido naftalenacético es una auxina más potente, por lo que su uso requiere ciertas precauciones, a los efectos de evitar un desbalance hormonal desfavorable (Sivori et al.,1980).

El mecanismo de acción de las auxinas según Montaldi (1980), provocaría la desdiferenciación de células del parénquima floemático y también del cambium para luego conjuntamente con factores exógenos u endógenos (cofactores), provocar la formación de primordios radicales que dan origen a las raíces.

La concentración efectiva para inducir la rizogénesis depende en primer término de la especie, estación y condiciones de crecimiento de la planta madre (Potts y Potts, 1986, citado por Gutierrez e Ipinza, 1992), pero en última instancia esta determinado genotípicamente por el individuo en particular.

### *Tratamientos especiales:*

Hay evidencias considerables de que la nutrición de la planta madre ejerce fuerte influencia sobre el desarrollo de las raíces en las estacas de ella obtenidas. Una alta relación C/N parece favorecer el enraizamiento (Hartmann y Kester, 1974).

Sustancias como sacarosa, tienen la capacidad de estimular directamente el enraizado o aumentar la actividad auxínica. Por otra parte, propágulos tomados de plantas fertilizadas enraizan mejor que aquellas extraídas de plantas que no lo fueron (Menzies, 1992).

### **2.4.3 Calidad del sistema radicular**

Mac Rae y Cotterill, 1997, comentan la problemática en el desarrollo de plántulas de *Eucalyptus globulus* propagadas vegetativamente por estacas, luego de que éstas son instaladas a campo, en investigaciones llevadas a cabo por la empresa Stora Celbi. Estos autores concluyen que la pobre performance se le atribuye a una estructura radicular inadecuada, ya que los árboles en estudio presentaban sistemas radiculares altamente deformados.

En función de lo citado tiene particular importancia la evaluación de la calidad de la raíz definiendo ciertas pautas que garanticen un buen crecimiento futuro.

Al respecto, Adendorff y Schon, 1991, señalan que la calidad del sistema radicular en estacas, conjuntamente a otros factores tales como el porcentaje de enraizamiento, calidad y característica de las plantas y costo de producción, son elementos de importancia al considerar la implementación de la forestación clonal con éxito.

La calidad del sistema radicular esta determinada por la estructura y tamaño del sistema radicular de la estaca enraizada.

Dichos investigadores, establecen que los factores individuales que afectan la calidad de la raíz son los siguientes:

- número total de raíces iniciales en la base de la estaca.
- distribución de las raíces entorno a la base de la estaca, en los cuatro cuadrantes.
- volumen del sistema radicular, con especial referencia a raíces fibrosas.
- color de las raíces; indicador de vigor.
- firmeza de la raíz junto al sustrato.

### **2.4.4 Diferencias en la raíz según su origen**

Sasse y Sands (1997), en su estudio sobre la configuración y desarrollo del sistema radicular en estacas y plantas de semilla en *Eucalyptus globulus*, caracterizan la estructura de ambos tipos radiculares destacando los aspectos mas significativos de cada uno de ellos.

### Plantas de semilla :

La estructura del sistema radicular de plantas de semilla según los autores presenta tres componentes: raíz principal, y dos tipos de raíces primarias. Las raíces que emergen de las raíces primarias son definidas como secundarias y las terciarias, las que emergen de estas últimas.

La raíz principal es generalmente bien definida y de fácil reconocimiento siendo fuertemente geotrópica. De dicha estructura emergen las raíces primarias.

Las raíces primarias del tipo A se caracterizan por su agrupamiento y se ubican desde la superficie del suelo hasta una zona de transición a partir de la cual se originan las raíces primarias del tipo B; siendo éstas más finas y distribuidas con mayor espaciamiento.

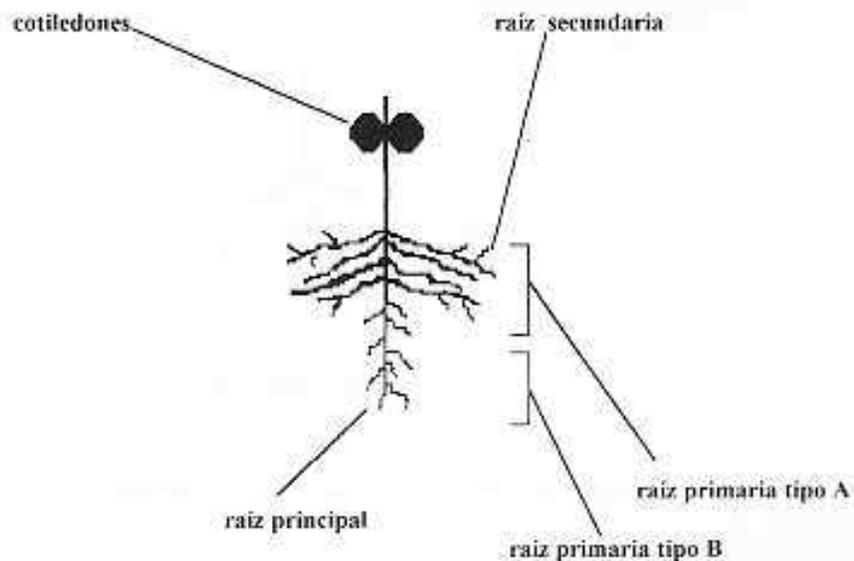


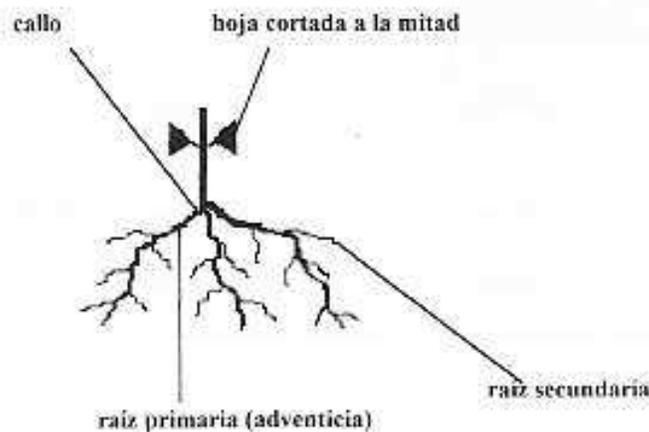
Figura N° 1 : Esquema de una planta originada de semilla.

\* Adaptado de Sasse y Sands, 1997.

### Estacas :

La estructura radicular de estacas es bien diferente al de plantas de semilla. Las estacas no presentan raíz principal, siendo los únicos componentes en la estructura radicular las raíces adventicias. El número de raíces adventicias durante el proceso de enraizamiento depende del sistema de propagación utilizado, si bien es frecuente encontrar de 1 a 4.

Para el análisis comparativo, las raíces adventicias son definidas como raíces primarias, y se consideran a las secundarias aquellas que se originan de las primeras. El tipo B no ocurre en estas plantas.



**Figura N° 2 : Esquema de una planta propagada por estaca.**

\* Adaptado de Sasse y Sands, 1997.

A continuación se presentan en forma resumida características de ambos sistemas radiculares, basándose en información recabada por diversas investigaciones, las cuales han sido anteriormente desarrolladas en el trabajo.

**Cuadro N° 1: Características radiculares según su origen.**

<b>Características</b>	<b>Planta por semilla</b>	<b>Planta por estaca</b>
<b>Tipos radiculares</b> <b>Clasificación</b> <b>Origen</b>	raíz principal y laterales ramificado radícula	raíces adventicias fibroso cél. iniciales ( cambium, proximidad cambium, o región interfascicular )
<b>Estructura</b>	buena	regular
<b>Extensión</b>	mayor	menor
<b>Penetración al suelo</b>	mayor	menor
<b>Unión a superficie del suelo</b>	menor	mayor
<b>Relación parte aérea/raíz</b>	menor	mayor

### **3. MATERIALES Y METODOS**

#### **3.1 ENSAYO CON ESTACAS**

##### **3.1.1 Localización geográfica e instalaciones utilizadas**

El trabajo experimental fue realizado en la sede del Programa Nacional Forestal, Estación Experimental del Norte del INIA - Tacuarembó ( Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria ).

El material vegetal para la producción de estacas provino de un banco clonal instalado en el establecimiento "La Magnolia" de dicha institución ( Se adjunta información sobre el plano, lista de clones y manejo del banco clonal en los anexos N° 1, 2 y 3 correspondientemente).

El lugar físico de desarrollo de las estacas fue un invernáculo, cuyas características más significativas se resumen en el anexo N° 4.

##### **3.1.2 Material vegetal madre**

El material vegetal para producir las estacas corresponde a pies madres de árboles "plus" seleccionados en el marco del Programa Nacional Forestal.

Como primer paso en la obtención de dichos pies madres, se seleccionaron en plantaciones comerciales de todo el país, rodales de excelente crecimiento, con buenas características de forma, condiciones sanitarias adecuadas y con información confiable del origen de la semilla utilizada en la plantación cuando este era disponible, y año de instalación.

En dichos rodales fueron seleccionados los árboles candidatos en base a las siguientes características que se consideraron de interés: altura total, altura de copa, DAP, diámetro de copa, rectitud de fuste, grado de espiralamiento, desrame natural y ángulo de inserción de las ramas.

Luego de evaluados los árboles candidatos se procedió a la cosecha de los frutos, con el objetivo de obtener semilla para instalar las pruebas de progenie, y de material vegetativo, consistiendo en ramas gruesas de dichos árboles, las cuales fueron puestas en condiciones controladas para la brotación de yemas epicórmicas.

Posteriormente a la brotación, se cortaron segmentos nodales de las yemas epicórmicas, cultivándose "in vitro" en primera instancia, para luego aclimatarse y por último ser llevadas a campo constituyéndose en pies madres, distribuidos en el banco clonal.

### **3.1.3 Descripción de clones evaluados**

Los clones de *Eucalyptus grandis* seleccionados para el trabajo fueron: VS8, VS13 y U2, identificados con los códigos 2, 3 y 9 respectivamente en el plano del banco clonal.

El criterio de selección de estos clones fue su alta capacidad de enraizamiento "in vitro", por lo que es esperable un buen desempeño en el siguiente trabajo.

El comportamiento de las estacas, fue evaluado para cada clon en particular, en base a combinaciones con diferentes sustratos, fitoreguladores, y envases, priorizando el estudio del sistema radicular.

### **3.1.4 Colecta y acondicionamiento del material**

En un principio estaba prevista la instalación simultánea del ensayo de estacas con el de semilla, pero debido a diversos factores no previstos, determinaron su desfasaje en el tiempo.

Al respecto, a principios de la primavera de 1997, las temperaturas registradas fueron elevadas, lo que favoreció una elevada brotación de las cepas del banco clonal. No obstante ello, en los días subsiguientes se produjeron heladas que provocaron un deterioro irreversible en el material a emplear, hecho que motivó su limpieza y manejo, y aguardar por un nuevo ciclo vegetativo que permitiera llevar a cabo el trabajo experimental ( Ver datos climáticos en anexo N° 5 ).

Por las razones expuestas, éste ensayo comenzó a materializarse en diciembre; es decir cuatro meses después de lo previsto, extendiéndose desde el 10 de diciembre al 4 de febrero de 1998.

El material vegetal extraído consistió en brotes de cepas; como característica de los brotes, se consideró su desarrollo y vigor evitando los demasiado herbáceos y muy lignificados, así como también su estado sanitario.

Los brotes seleccionados se colocaron en bolsas de polietileno y se fumigaron con una solución de Benlate a razón de 2 gr / l de agua destilada, para luego depositarse y trasladarse en conservadora refrigerada al sitio de elaboración de las estacas.

Una vez en el laboratorio, los brotes fueron lavados con detergente, enjuagados con agua y posteriormente secados con papel absorbente.

### **3.1.5 Confección de las estacas**

Las estacas se confeccionaron de 10 a 15 cm de longitud con dos hojas y las yemas correspondientes, empleándose los 2/3 medios de cada brote, de forma tal de evitar partes muy lignificadas como muy herbáceas.

Las hojas fueron cortadas transversalmente por la mitad, medida que se aconseja para evitar transpiración excesiva, sobreposición y microclima favorable al desarrollo de patógenos.

El corte basal de las estacas fue en bisel, mientras que el superior fue recto aplicándose en él cera funguicida. Esta práctica se explica empíricamente por la teoría de que el corte en bisel aumenta la superficie de exposición con promotores de enraizamiento, y el corte recto disminuye tal superficie lo que limita la ocurrencia de patógenos.

Una vez aplicado el fitooregulador correspondiente, la estaca fue clavada en el sustrato en un agujero previamente preparado, medida tendiente a evitar la pérdida de bioregulador en superficie del sustrato, y adicionalmente la lesión del tallo.

El líquido restante donde se hallaba el producto comercial Raizal diluido, fue aplicado como riego en las estacas tratadas con éste producto, luego de ser instaladas en sus respectivos envases y llevadas al invernáculo.

### **3.1.6 Condiciones ambientales en el desarrollo de las estacas**

Las estacas fueron puestas a enraizar durante un periodo de ocho semanas, en un invernáculo, en cuyo interior la temperatura ambiente se mantuvo en torno a los 24 ° C, no existiendo gradientes significativos tanto a lo largo como a lo alto de dicha instalación, lo que fue comprobado una vez

instalado el invernáculo mediante la colocación en su interior de termohigrógrafos.

La humedad relativa ambiente fue del 100 %, a través de la aspersión de riego a modo de niebla (mist). Estas aspersiones de agua realizadas en forma automática a intervalos de 30 minutos, con 1 minuto de duración, mantuvieron constantemente humedecidas la superficie de las hojas de las estacas.

Las condiciones ambientales, son muy favorables para la proliferación de hongos, por tal motivo se realizaron periódicas aplicaciones de funguicida ( 1 vez por semana ). El producto utilizado fue una solución de Benlate a razón de 2 gr / lt., aplicado con una pulverizadora de mano de 2 lt. de capacidad.

Si bien se consideró como posibilidad eventual una resistencia de patógenos al utilizar un mismo producto, la metodología aplicada se basó en razones prácticas del trabajo.

### 3.1.7 Sustratos, fitoreguladores y envases

#### Sustratos:

**Vermiculita:** sustrato inerte y micáceo; químicamente es un silicato hidratado de magnesio, aluminio y hierro. Es de reacción neutra, con buena capacidad de amortiguación "buffer", insoluble en agua, pero capaz de absorberla en grandes cantidades.

Contiene suficiente magnesio y potasio para satisfacer las necesidades de la mayoría de las plantas. Así mismo, nutrientes aplicados en forma exógena, son rápidamente disponibles para el vegetal.

Es un sustrato estándar para trabajos de investigación, y a la vez es relativamente fácil su adquisición en el mercado (Hartmann y Kester, 1974).

#### **Cuadro N° 2: Principales características físico - químicas de la vermiculita.**

	<b>Mea Kg / m<sup>3</sup></b>	<b>% de humedad</b>	<b>ph CaCl<sub>2</sub></b>	<b>Capacidad de retener agua %</b>
<b>VERMICULITA</b>	<b>85 ± 8%</b>	<b>7 ± 2</b>	<b>7.0 ± 1.4</b>	<b>400 - 500</b>

Fuente: Eucatex Mineral Ltda.

**Plantmax:** es un producto elaborado con materia orgánica de origen vegetal debidamente compostada (corteza de pino), turba, vermiculita, además de fertilizantes minerales.

En nuestro país es de uso corriente y accesible. De su análisis resultan los siguientes valores:

- pH (agua) rel. 1/10 5,4.
- Materia orgánica (%) 11,64.
- Resinas (ug P/g) 1480.
- K (meq/ 100g.) 2,87.
- N (%) 0,71.
- Textura: arena (%) 6
- limo (%) 86
- arcilla(%) 8

Fuente: Laboratorio de Análisis de Suelos, Plantas y Aguas; INIA, La Estanzuela.

**Cuadro N° 3: Principales características físico-químicas del sustrato comercial.**

	Mea Kg / m <sup>3</sup>	% de humedad	ph CaCl2	Capacidad de retener agua %
<b>PLANTMAX</b>	410 ± 8%	45 ± 5%	6.0 ± 0.5	200 - 300

Fuente: Eucatex Mineral Ltda.

Fitoreguladores:

Se consideraron dos tipos de reguladores de crecimiento, ambas auxinas, las que se aplicaron en la base de las estacas en dos modalidades :

- IBA (ácido indolbutírico), como talco al 1%.
- Raizal , formulado comercial , se aplicó diluido ( 10 gr./ l de agua destilada), siendo la permanencia de las estacas en la dilución de una hora.

Composición porcentual:

Nitrógeno total.....	9%.
Fósforo disponible.....	45%.
Potasio.....	11%.
Magnesio.....	0,6%.
Azufre.....	0,8%.
Auxinas.....	400 ppm.

Fuente: Grupo Bioquímico Mexicano, S.A. de C.V.

Es preciso destacar que si bien se realizaron los esfuerzos por recabar información detallada sobre el tipo de auxina que compone este formulado, la misma no fue dada por la empresa fabricante, por cuanto la explicación de su efecto en los tratamientos se verá limitada.

Envases:

Se utilizaron dos tipos de envases: tubetes y bolsas.

La elección de tubetes se basa en que es el envase internacionalmente usado para producir estacas, entre otros por su volumen y comodidad de extracción de la plántula. Fueron tubetes individuales de 8 estrias internas, con un volumen de 320 cm<sup>3</sup>. Su diámetro superior 5 cm, diámetro inferior 1.2 cm, y una profundidad de 19 cm.

Una de las ventajas en el uso de este tipo de envase, es que reduce inconvenientes de espiralamiento, en función de las estrias en paredes interiores que conducen al sistema radicular.

La bolsa fue utilizada con fines experimentales, siendo de polietileno, con un volumen de 385 cm<sup>3</sup>, ancho 10 cm, y profundidad de 15 cm.

**3.1.8 Diseño experimental y tratamientos**

- **Diseño experimental:** factorial completo.
- **Número de clones:** 3.
- **Número de tratamientos:** 24.
- **Número de repeticiones por tratamiento:** 30.

Nº tratamientos: clones (3) x envases (2) x sustratos (2) x fitoregulador (2) = 24.

10 estacas por unidad experimental y 3 repeticiones.

$10 \times 8 \times 3 = 240$  estacas por clon.

$240 \times 3 = 720$  estacas.

Cada tratamiento resultado de la combinación clon x envase x fitoregulador x sustrato, se agrupó en bandejas individuales, las que se distribuyeron aleatoriamente en mesas instaladas en el interior del invernáculo, definiendo un diseño factorial completo.

Las bandejas se encontraban a un mismo nivel y equidistantes a los aspersores que componen el sistema automático de riego, de forma tal que las condiciones ambientales afectaran igualmente a todos los tratamientos.

### 3.1.9 Parámetros estudiados

Los parámetros considerados en el ensayo fueron los siguientes:

- Patrones de enraizamiento.
- Longitud del sistema radicular.
  - por proyección.
  - por curvímeter (total).
- Conteo del número de raíces gruesas.
- Biomasa vegetal evaluada a través del peso seco de parte aérea y parte radicular.

Para la presentación de los resultados se ha utilizado el programa estadístico SAS, considerándose los diferentes parámetros a analizar como modelos lineales generalizados.

El parámetro patrones de enraizamiento presenta una distribución binomial estimándose por el método de máxima verosimilitud, utilizando la función Logit. Se realizaron pruebas de razón de verosimilitud e intervalos de confianza al 95 %.

Aquellos parámetros con distribución continua ( longitud radicular por proyección y curvímeter, número de raíces gruesas y peso seco de parte aérea y radicular ) fueron estimados por el método de mínimos cuadrados, efectuándose análisis de varianza.

Para el número de raíces gruesas los datos primarios se modificaron aplicando la raíz cuadrada a cada uno de ellos y así homogeneizar la varianza para su posterior análisis.

### **3.1.10 Procedimiento en las mediciones**

Estas se llevaron a cabo al finalizar el ensayo; previamente una serie de operaciones fueron realizadas cuidando en todo momento las indicaciones del tratamiento a evaluar:

- extracción de la planta de su envase correspondiente.
- lavado del sistema radicular, eliminando el sustrato.
- posterior secado con papel absorbente.
- división de parte aérea y parte radicular.

La determinación del peso fresco y peso seco, de la parte aérea y radicular, se estimó mediante el uso de una balanza electrónica de precisión.

El material vegetal en fresco correspondiente a cada planta, una vez pesado, se ubicó por separado en envoltorios de papel aluminio, especificándose el tratamiento, fecha de observación y número de muestra, permaneciendo en estufa a 60 ° C hasta peso constante, para la posterior medición del peso seco.

Mediante fotocopia de los sistemas radiculares en fresco, bien identificados, se determinaron los parámetros específicamente radiculares, es decir, patrones de enraizamiento, longitud y conteo de raíces gruesas considerando las siguientes apreciaciones:

#### **Patrones de enraizamiento:**

Se entiende por patrones de enraizamiento a los diversos tipos radiculares observados en el ensayo, considerándose el total de las estacas enraizadas independientemente de la emisión de raíces o no (presencia de callo).

### **Longitud radicular:**

Se consideraron únicamente las estacas de cada tratamiento, con emisión de raíces.

La longitud por proyección corresponde a la distancia entre el cuello de la raíz y el extremo más apical del sistema radicular de la estaca, midiéndose con una regla.

La longitud por curvímeter, se corresponde con la medición total del sistema radicular, exceptuando las raicillas. Se midió en base al uso de un curvímeter, con el que se repasaba el sistema radicular impreso en la fotocopia. Se utilizó una escala tal, que cada vuelta de curvímeter, equivalía a 1m.

### **Conteo de raíces gruesas:**

Este parámetro se basó en identificar el número de raíces de mayor desarrollo en la estaca, por consiguiente aquellas de emisión primaria, las cuales se originaban del callo o de la propia estaca.

## **3.2 ENSAYO CON PLANTAS POR SEMILLA**

### **3.2.1 Localización geográfica e instalaciones utilizadas**

El área elegida para su instalación, fue un sombráculo protegido lateralmente con media sombra y lindero al invernáculo definido en el ensayo anterior. En dicho invernáculo, se realizó también la siembra en almácigo para el futuro repique.

### **3.2.2 Descripción de los factores**

Se consideraron los mismos clones, sustratos y envases utilizados en el ensayo anterior, con el agregado del factor tipo de implantación, siembra directa y repique.

### **3.2.3 Condiciones prácticas de realización del ensayo**

La imposibilidad de efectuar este ensayo simultáneamente al precedente, impide una comparación estadística, obligando el desfasaje en el tiempo entre ambos ensayos, a una comparación únicamente cualitativa.

La semilla utilizada, fue cosechada de los árboles "plus" a partir de los cuales se obtuvieron los clones VS8, VS13 y U2, existiendo por consiguiente un parentesco de medios hermanos con las plantas propagadas vegetativamente en el ensayo anterior, para cada clon en particular.

Dicha semilla fue cosechada en el año 1993 y acondicionada a 4° C de temperatura en un banco de semilla activa del INIA.

Las condiciones ambientales a las cuales fueron sometidas las plántulas en el sombráculo fueron calculadas en base a la información recabada de la casilla meteorológica del INIA, registrándose una temperatura mínima promedio de 11,8 ° C y una temperatura máxima promedio de 23,4 ° C; siendo la humedad relativa del aire promedio de 72,8 % para el período considerado ( Ver anexo N° 5 ).

Durante las 14 semanas de duración del ensayo se regó dos a tres veces por día en forma manual a modo de llovizna, buscando mantener un nivel hídrico adecuado a las necesidades fisiológicas de las plántulas.

Adicionalmente, se realizaron aplicaciones preventivas de funguicida, con una frecuencia de una vez por semana, de una solución de Benlate a razón de 2 gr./lt, con pulverizadora manual.

#### **Siembra directa:**

Se instaló el día 19 de agosto, paralelamente a la siembra en almácigo. Consistió en la siembra directamente de las semillas en los envases definitivos, por lo que el desarrollo de las plántulas no se vió interrumpido por repique o transplante.

Como primer medida fue necesario el llenado de los envases a usar, y su posterior ubicación en mesas dispuestas en el sombráculo. Seguidamente, se pesaron 2 gr. de semilla/ árbol plus para luego sembrar cuidadosamente en forma manual a razón de 3 semillas/ envase.

Tres semanas más tarde, se entendió conveniente realizar una resiembra, ya que el porcentaje de fallas en la germinación fue considerable

(fundamentalmente en tratamientos con sustrato Plantmax), atribuyéndose éste suceso a pérdida de viabilidad en función del tiempo de almacenamiento ( 4 años) , posible lavado de la semilla, por fluctuaciones de temperatura, o siembra a profundidad elevada.

Con posterioridad a ésta última intervención, se llevó a cabo un raleo, tendiente a dejar una única plántula/ envase, priorizando aquellas mejor ubicadas y de buena conformación.

#### **Siembra en almácigo:**

Primeramente se incorporó tierra esterilizada a través de fuego y tamizada, en bandejas. Una vez humedecida la superficie, se realizó la siembra al voleo, de 2 gr. de semilla/ árbol plus/ bandeja, para luego cubrirse con una delgada capa de tierra de 1 a 2 mm de espesor , y otra encima de cáscara de arroz cuya finalidad es conservar la humedad.

Las bandejas permanecieron en un invernáculo con condiciones ambientales controladas, en especial en cuanto a temperatura y humedad relativa.

El repique del almácigo a los envases se efectuó cuando las plántulas presentaron dos pares de hojas. Este trabajo, se hizo a la sombra, poniendo las plántulas en agua inmediatamente de retiradas del almácigo y descartando aquellas con mala conformación.

Previo al repique, los envases en las estructuras portantes, en el sombráculo, se regaron; para luego practicarse un orificio a cada envase con un palillo de punta cónica, introducir la plántula y apretar el sustrato de los costados contra la raíz. La práctica correcta del repique reduce problemas de rotura o deformación de la raíz principal , que afectan el futuro desarrollo de la planta.

#### **3.2.4 Diseño experimental y tratamientos**

- *Resumen siembra directa.*

**Número plantas:** clones (3) x sustratos (2) x envases (2) x (3x10 unidades)  
= 360.

**Tratamientos:** 12.

- *Resumen repique:*

**Número plantas:** clones (3) x sustratos (2) x envases (2) x (3x10 unidades)  
= 360.

**Tratamientos:** 12.

En el interior del sombráculo, los tratamientos de siembra directa y repique se distribuyeron al azar, en mesas portantes, conformando un diseño experimental factorial completo. Cada tratamiento resultó de la combinación clon, tipo de implantación, sustrato y envase.

### **3.2.5 Parámetros estudiados**

Como forma de posibilitar una comparación del sistema radicular de las plantas propagadas por semilla con aquellos provenientes de estacas, se procedió a realizar un muestreo del material trabajando con 1/3 de la población, o sea con 10 plantas del tratamiento las que fueron seleccionadas al azar.

Fue realizado únicamente un análisis cualitativo para el parámetro patrones de enraizamiento.

## **4. RESULTADOS Y DISCUSION**

### **4.1 CONSIDERACIONES PREVIAS.**

Se resumen a continuación las abreviaturas a utilizar de aquí en más en el desarrollo del trabajo:

- R : Formulado comercial Raizal.
- IBA : Acido indol butírico.
- V : Vermiculita.
- E : Plantmax ( Eucatex).
- T : Tubete.
- B : Bolsa.
- SD : Siembra directa.
- Rp : Repique.
- e1 : Callo.
- e2 : Callo con raíces que emergen de éste.
- e3 : Callo con raíces anteriores.
- e4 : Sin callo, con raíces.
- e5 : Callo con raíces que emergen de éste y otras por encima.
- s1 : Raíz principal con ramificaciones laterales.
- s2 : Sin raíz principal definida.
- s3 : Raíz principal con bifurcación.
- PSA: Peso seco aéreo.
- PSR: Peso seco radicular.

Con respecto a los clones, seleccionados para la evaluación en base a su buen performance de enraizamiento en cultivo " in vitro", cabe precisar que el clon U2 presentó un bajo porcentaje de enraizamiento promedio (23.33%), atribuyéndo tal hecho al uso de material vegetal escaso y muy herbáceo, por lo que se entendió conveniente excluirlo del análisis estadístico detallado.

En los anexos N° 6 y 7 se muestran las diferentes salidas estadísticas para cada parámetro con el detalle de los factores e interacciones y sus respectivas significancias; así como las fórmulas utilizadas para el análisis.

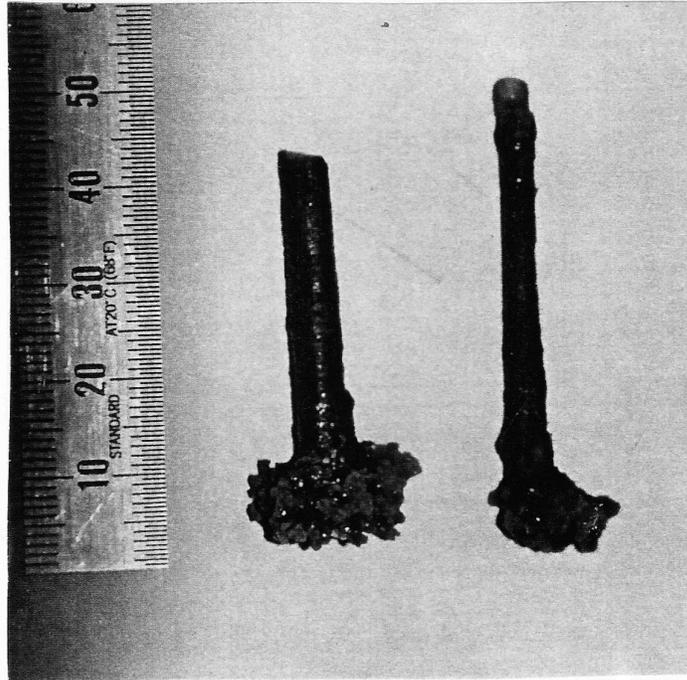
## 4.2 PATRONES DE ENRAIZAMIENTO

### 4.2.1 En estacas.

Este parámetro ha sido definido como las distintas variantes encontradas en el ensayo de producción de estacas, en cuanto a la arquitectura del sistema radicular observada.

En el ensayo realizado se han determinado cinco patrones de enraizamiento, siendo el criterio de clasificación el punto de inserción de las raíces adventicias en la estaca; a continuación son detallados ilustrando cada patrón mediante fotografías de los mismos.

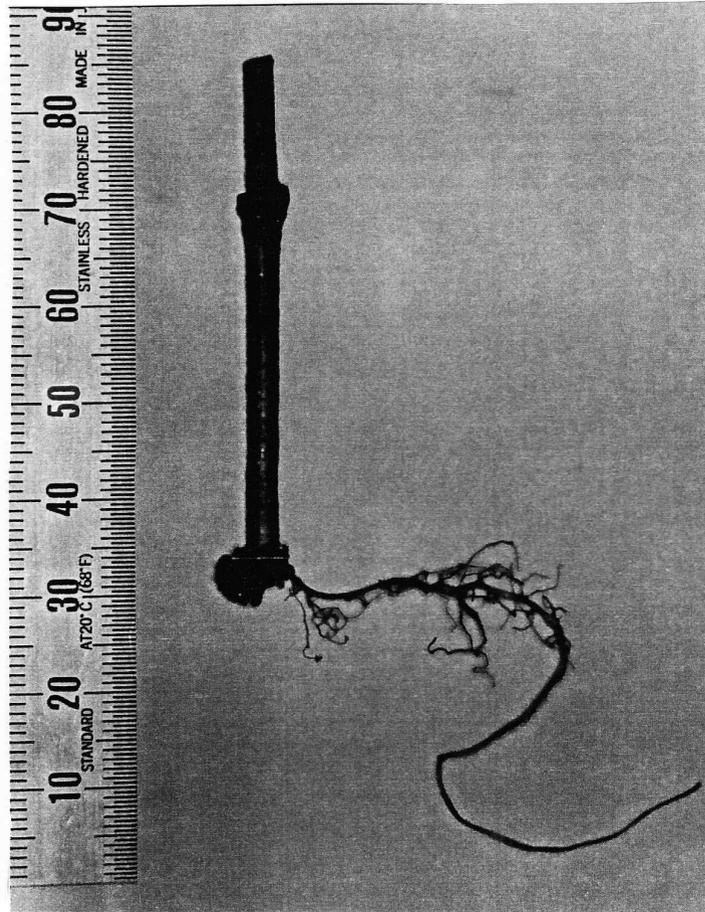
#### 1. Patrón de enraizamiento e1.



**Figura N° 3: Detalle que muestra la estructura del callo en la base de la estaca .**

Como se observa en la ilustración , el callo es una estructura irregular que se origina en la base de la estaca. Está constituido por células parenquimáticas, presentando tamaños variables, al igual que en su forma y coloración.

## 2. Patrón de enraizamiento e2.



**Figura N° 4: Fotografía del callo con raíces que emergen de éste.**

Esta fotografía, ilustra la inserción de una raíz adventicia primaria en el callo ubicado en la base de la estaca. Las raíces adventicias primarias en un primer momento son de coloración blanca y se caracterizan por ser poco consistentes, carnosas. A medida que las raíces maduran se suberifican, así como también modifican su coloración.

Las raíces adventicias secundarias emergen de las primarias presentando menor tamaño y grosor.

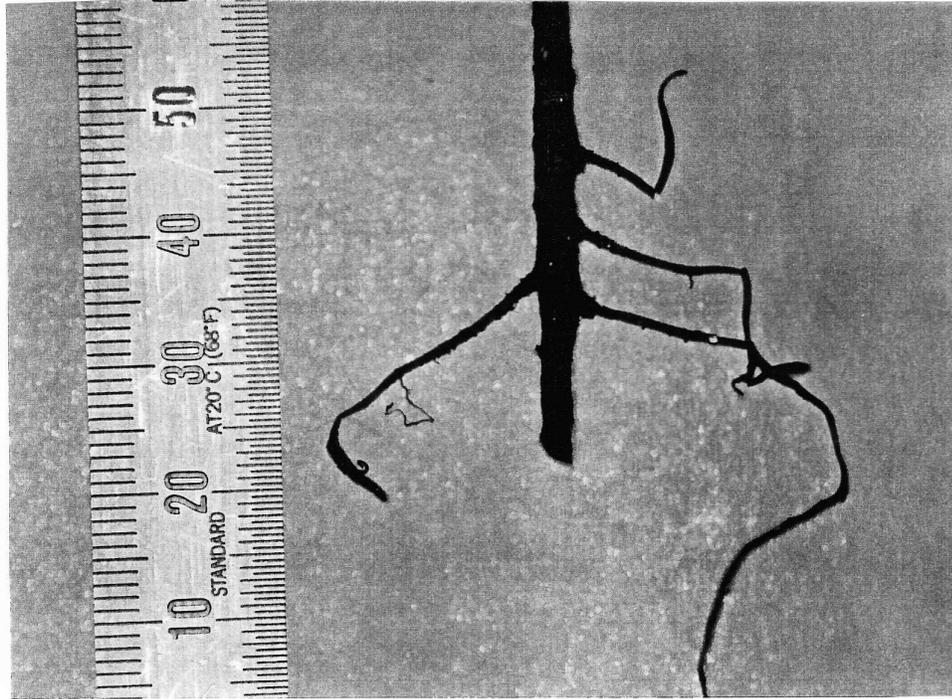
### 3. Patrón de enraizamiento e3.



**Figura N° 5: Fotografía detallando la estructura del callo con la raíz que emerge por encima de éste.**

Este patrón de enraizamiento se muestra en forma focalizada, siendo bien visible la inserción de la raíz por encima del callo, sin el reconocimiento de raíces que emerjan de dicha estructura.

#### 4. Patrón de enraizamiento e4.



**Figura N° 6: Detalle del sistema radicular conformado únicamente por raíces.**

Las raíces se disponen en la estaca sin previa formación de callo. Fue posible constatar que en estos casos se apreciaba un deterioro y afinamiento del extremo basal libre de raíces.

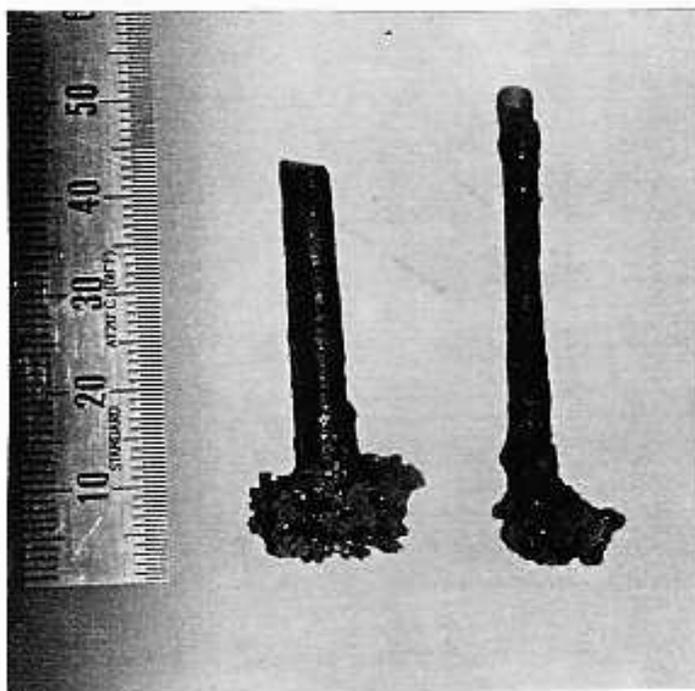
## 4.2 PATRONES DE ENRAIZAMIENTO

### 4.2.1 En estacas.

Este parámetro ha sido definido como las distintas variantes encontradas en el ensayo de producción de estacas, en cuanto a la arquitectura del sistema radicular observada.

En el ensayo realizado se han determinado cinco patrones de enraizamiento, siendo el criterio de clasificación el punto de inserción de las raíces adventicias en la estaca; a continuación son detallados ilustrando cada patrón mediante fotografías de los mismos.

#### 1. Patrón de enraizamiento el .



**Figura N° 3: Detalle que muestra la estructura del callo en la base de la estaca .**

Como se observa en la ilustración , el callo es una estructura irregular que se origina en la base de la estaca. Está constituido por células parenquimáticas, presentando tamaños variables, al igual que en su forma y coloración.

## 2. Patrón de enraizamiento e2.

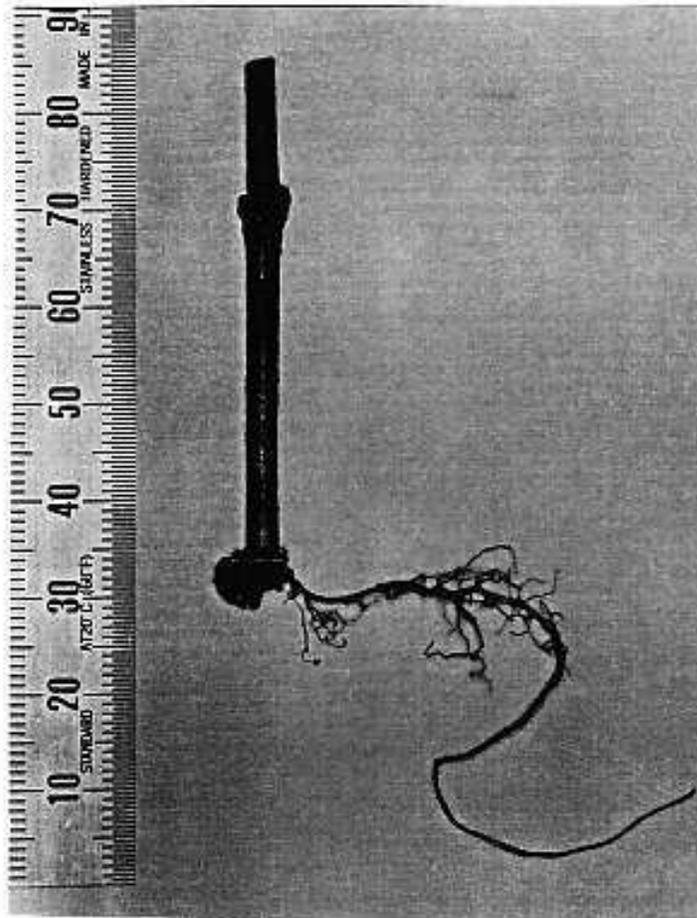


Figura N° 4: Fotografía del callo con raíces que emergen de éste.

Esta fotografía, ilustra la inserción de una raíz adventicia primaria en el callo ubicado en la base de la estaca. Las raíces adventicias primarias en un primer momento son de coloración blanca y se caracterizan por ser poco consistentes, carnosas. A medida que las raíces maduran se suberifican, así como también modifican su coloración.

Las raíces adventicias secundarias emergen de las primarias presentando menor tamaño y grosor.

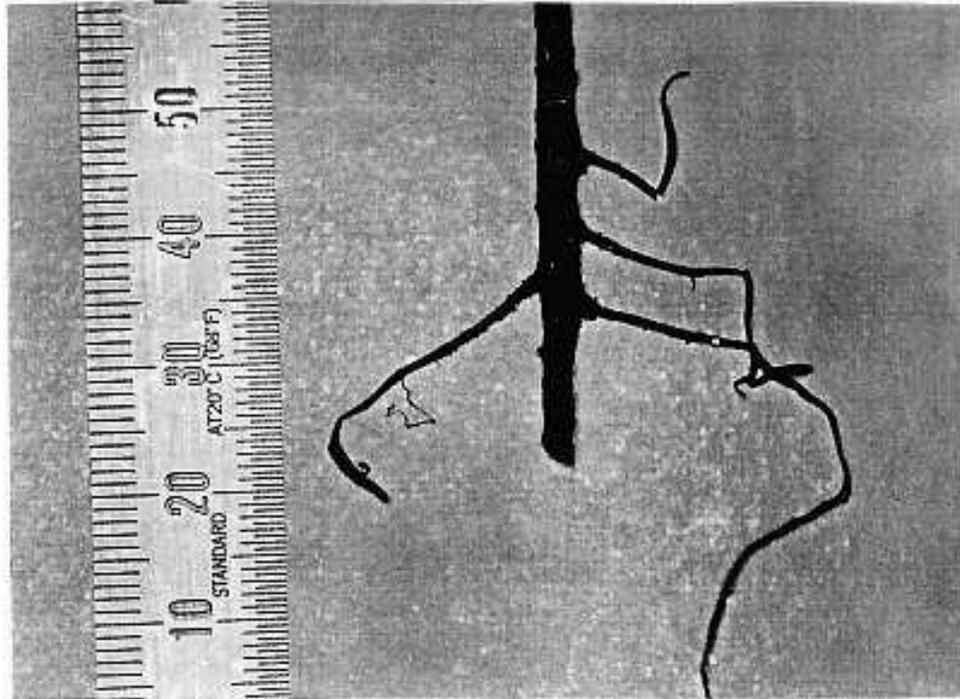
### 3. Patrón de enraizamiento e3.



**Figura N° 5: Fotografía detallando la estructura del callo con la raíz que emerge por encima de éste.**

Este patrón de enraizamiento se muestra en forma focalizada, siendo bien visible la inserción de la raíz por encima del callo, sin el reconocimiento de raíces que emerjan de dicha estructura.

#### 4. Patrón de enraizamiento e4.



**Figura N° 6: Detalle del sistema radicular conformado únicamente por raíces.**

Las raíces se disponen en la estaca sin previa formación de callo. Fue posible constatar que en estos casos se apreciaba un deterioro y afinamiento del extremo basal libre de raíces.

## 5. Patrón de enraizamiento e5.

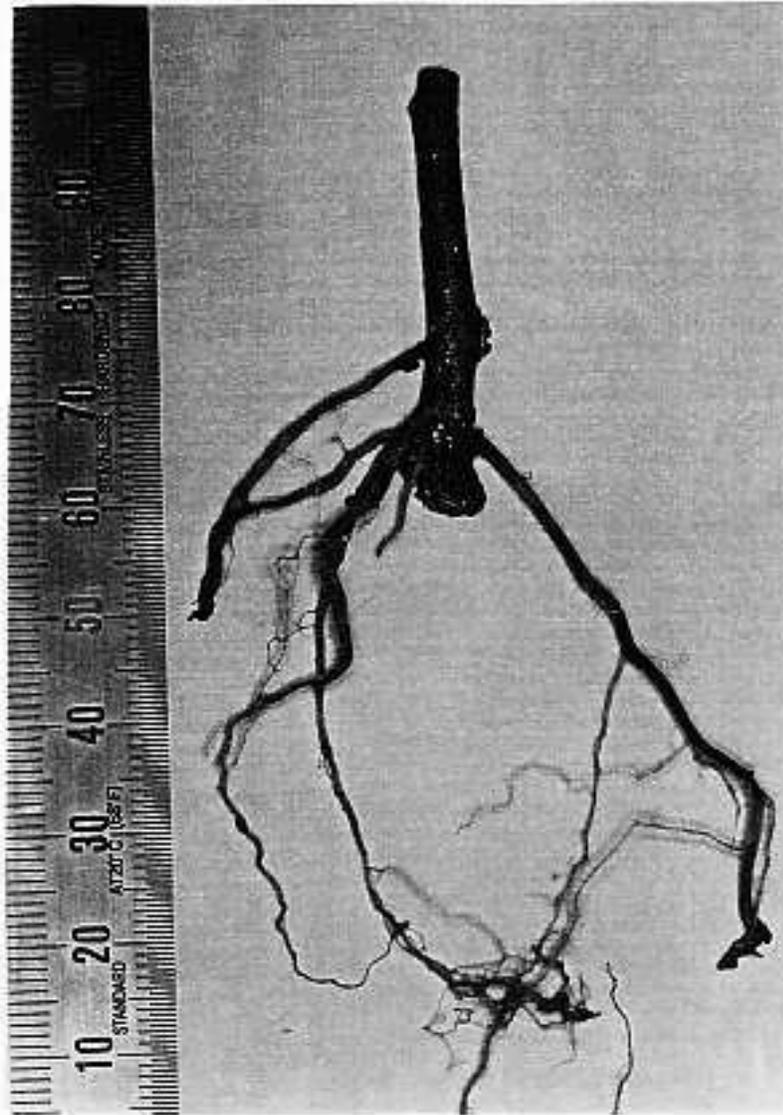


Figura N° 7: Fotografía del callo con raíces que emergen de éste, y otras por encima.

Se reconoce como el sistema radicular más complejo encontrado, pudiendo definirse como la conjunción de los patrones identificados como e2 y e3.

En función de los patrones de enraizamiento definidos anteriormente, y de acuerdo con Sasse y Sands,(1997), se puede concluir, que un sistema radicular típico en estacas está constituido por un conjunto de raíces adventicias que

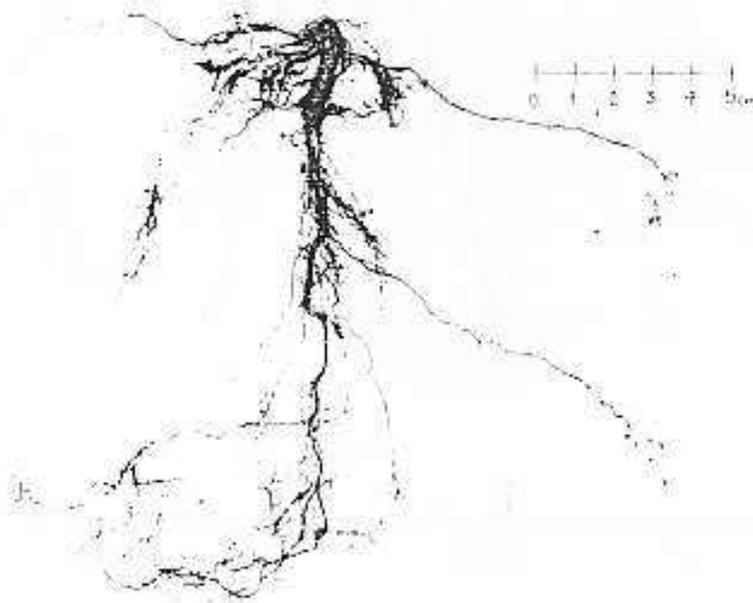
emergen durante el proceso de propagación, como también de una estructura irregular de diversos tamaños, que se ubica en la base de la estaca estando conformada por tejido parenquimático, y comúnmente denominado "callo", que se formaría previo a la emisión de las raíces.

#### 4.2.2 En plantas propagadas por semilla.

El sistema radicular de plantas producidas por el método natural, es bien diferente al de estacas, en su arquitectura y configuración.

A partir del ensayo de producción de plantas por semilla en los tipos de implantación de siembra directa y repique, se han definido los siguientes tres patrones de enraizamiento característicos:

##### 1. Patrón de enraizamiento s1.



**Figura N° 8: Fotografía del sistema radicular con raíz principal y ramificaciones laterales.**

En la fotografía se observa un sistema radicular típico de una planta originada de semilla, presentando una raíz principal dominante, de mayor grosor, raíces laterales primarias y raíces secundarias que emergen de estas últimas. Cabe agregar que este fue el patrón más frecuente en aquellos tratamientos de siembra directa.

## 2. Patrón de enraizamiento s2.

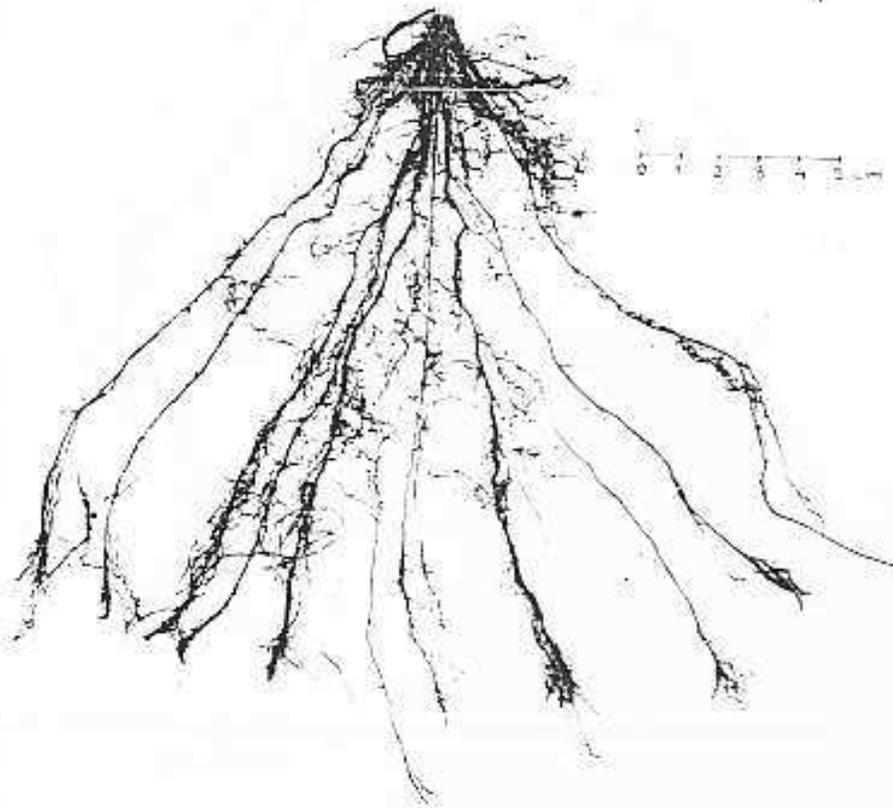
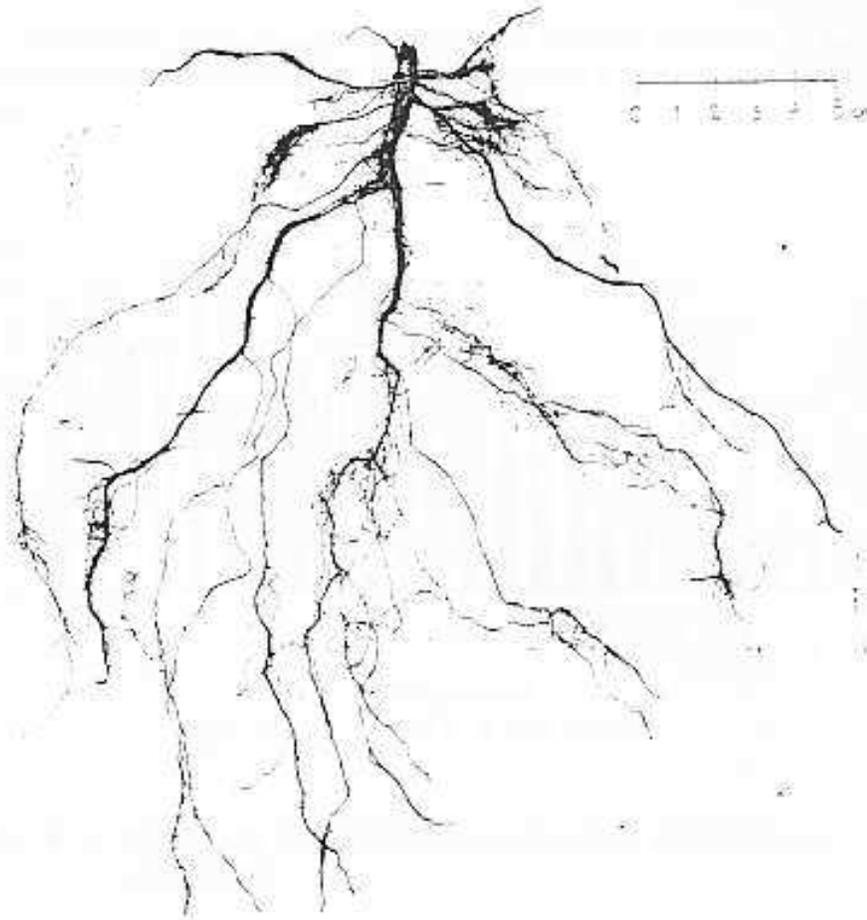


Figura N° 9: Fotografía del sistema radicular sin una raíz principal definida.

Este sistema radicular carece de una raíz principal dominante, apreciándose un importante número de raíces primarias que se originan en el cuello de la raíz de similar tamaño. Se manifiesta principalmente en el repique, atribuible a su práctica incorrecta, lo que determina la rotura apical de la raíz.

### 3. Patrón de enraizamiento s3.

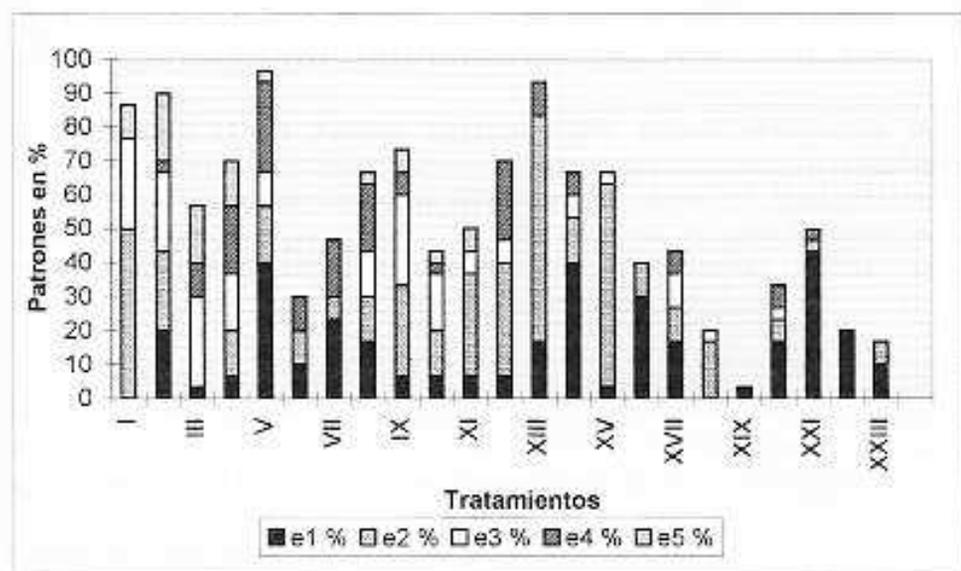


**Figura N° 10: Fotografía del sistema radicular con la raíz principal bifurcada.**

La bifurcación apreciada puede deberse a un obstáculo en el medio de enraizamiento que afecte el normal desarrollo radicular, o a una eventual lesión del ápice radicular.

### 4.3 ANALISIS DE LOS PATRONES DE ENRAIZAMIENTO EN ESTACAS.

El siguiente gráfico muestra los resultados para este parámetro en función de cada tratamiento, producto de la combinación clon x fitoregulador x envase x sustrato.



**Gráfico N° 1: Patrones de enraizamiento en porcentaje acumulado por tratamiento.**

Del análisis en conjunto del gráfico anterior y el cuadro del anexo N° 8 se indican las siguientes apreciaciones:

- Los clones VS8 y VS13 tuvieron un porcentaje promedio de enraizamiento que en ambos casos superó al 60 %. El clon U2 presentó una respuesta sensiblemente menor (23 %), habiéndose discutido anteriormente que pudo deberse al material escaso y muy herbáceo con que se contaba para el ensayo. Al respecto Zobel y Talbert (1992), comentan las dificultades en el enraizamiento de estacas al utilizar tejido fisiológicamente maduro o muy juvenil.

- Se aprecia una tendencia del clon U2 a la formación de callos; del clon VS13 a la formación de callos con raíces que emergen de éste; no existiendo para el clon VS8 una tendencia clara en un patrón definido, dada la dispersión de los valores.

- Para los tres clones, la combinación R T V, fue la de mayor porcentaje de enraizamiento.

El formulado comercial, además de auxinas aporta nutrientes como ser N, P, K, Mg, S. Según Menzies (1992), todo aporte nutricional incrementa la actividad auxínica y por consiguiente favorece el enraizamiento.

La vermiculita es un sustrato suficientemente poroso permitiendo buena aereación y elevada capacidad de retener agua, propiedades éstas que Hartmann y Kester (1974), indican como las ideales en un medio de enraizamiento en estacas. Al mismo tiempo, si bien es un sustrato inerte, presenta la capacidad de retener nutrientes y proporcionarlos rápidamente al vegetal, por lo cual la combinación con el formulado comercial resultaría beneficiosa.

En cuanto al envase, el tubete tiene un menor volumen que la bolsa y al mismo tiempo un diseño que permite un drenaje más rápido evitando así condiciones de saturación, manteniendo lo suficientemente aereado al medio, característica que según Romberger (1963), citado por Sutton (1969), favorece el enraizamiento.

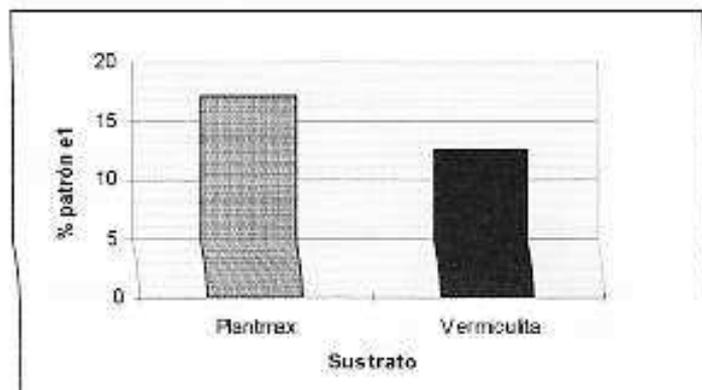
#### **Patrón e1: callo sólo.**

Para este patrón de enraizamiento, se han observado diferencias significativas en el sustrato y fitoregulador utilizados, así como en interacciones clon x sustrato x fitoregulador y envase x sustrato x fitoregulador. Tales resultados se muestran a continuación en el cuadro N° 4 y gráficos N° 3 al 6.

**Cuadro N° 4: Efecto del sustrato y fitoregulador en el porcentaje del patrón e1.**

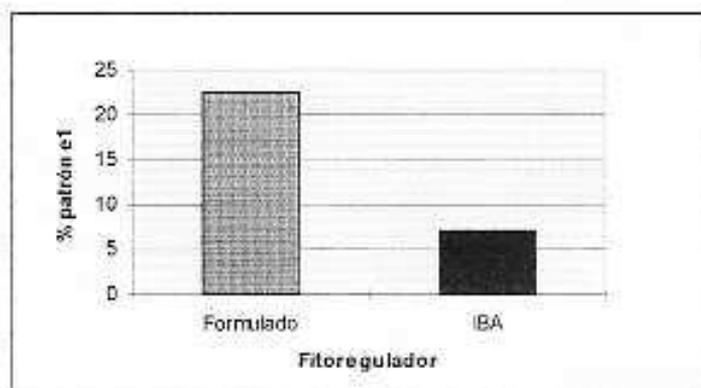
Factor		% de callos
SUSTRATO	Plantmax	17.1 a
	Vermiculita	12.5 b
FITOREGULADOR	Formulado	22.5 a
	IBA	7.1 b

\* Letras distintas indican diferencias significativas al 0.05



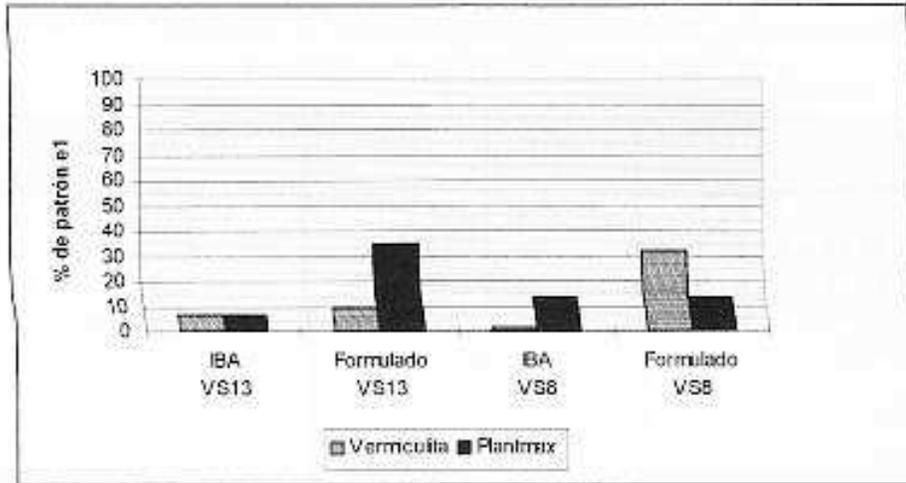
**Gráfico N° 2: Porcentaje del patrón e1 en función del sustrato utilizado.**

El sustrato Plantmax se muestra superior al promover un mayor % de callos promedio. El contenido de nutrientes de dicho sustrato, se entiende que actúa como un efecto "starter" en el enraizamiento, siendo la formación de callo según Hartmann y Kester (1974), un proceso independiente a la formación de raíces, y anterior a la definición de los primordios radicales.

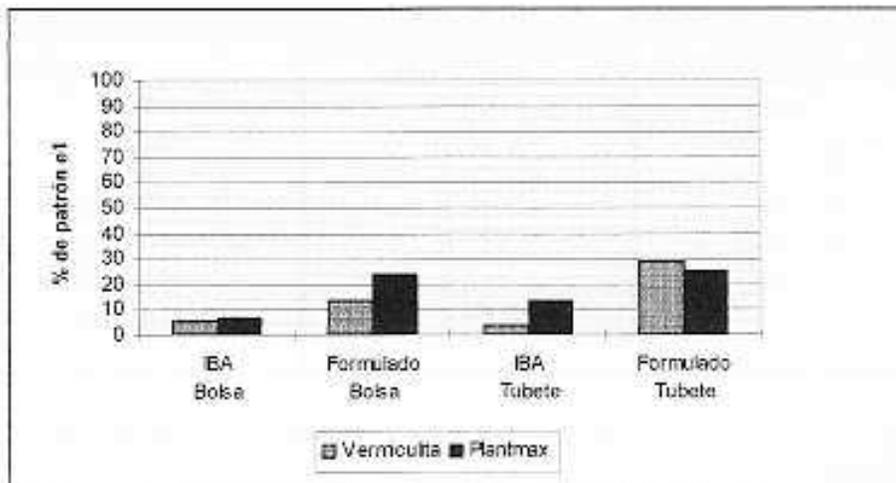


**Gráfico N° 3: Porcentaje del patrón e1 en función del fitoregulador utilizado**

El gráfico muestra claramente que el formulado comercial se comporta mejor en la formación de callos con respecto al IBA. La notoria diferencia se adjudica al aporte de nutrientes por el formulado, siendo el efecto de los mismos discutido en el gráfico que antecede.



**Gráfico N° 4: Efecto de la interacción clon x hormona x sustrato, en el porcentaje de patrón e1.**



**Gráfico N° 5: Efecto de la interacción envase x sustrato x fitoregulador en el porcentaje de patrón e1.**

En cuanto al análisis de los gráficos anteriores, donde se presentan las interacciones significativas encontradas, surge que independientemente del clon, sustrato y envase utilizados, el formulado comercial es quien resulta ser más efectivo en desarrollar este patrón.

**Cuadro N° 5: Efecto de la interacción clon, fitoregulador, envase y sustrato en el porcentaje del patrón e1 para el clon VS8.**

TRATAMIENTO	PORCENTAJE	INTERVALO DE CONFIANZA (95 %)
VS8, R, T, V	40.00 a	( 24.31 -- 58.05 )
VS8, R, B, V	23.33 ab	( 11.55 -- 41.50 )
VS8, IBA, T, E	20.00 ab	( 9.27 -- 37.95 )
VS8, R, B, E	16.67 ab	( 7.11 -- 34.32 )
VS8, R, T, E	10.00 ab	( 3.26 -- 26.81 )
VS8, IBA, B, E	6.67 b	( 1.67 -- 23.07 )
VS8, IBA, B, V	3.33 b	( 0.46 -- 20.20 )
VS8, IBA, T, V	0.00 c	( 0.00 -- 0.00 )

**Cuadro N° 6: Efecto de la interacción clon, fitoregulador, envase y sustrato en el porcentaje del patrón e1 para el clon VS13.**

TRATAMIENTO	PORCENTAJE	INTERVALO DE CONFIANZA (95 %)
VS13, R, T, E	40.00 a	( 24.31 -- 58.05 )
VS13, R, B, E	30.00 ab	( 16.41 -- 48.34 )
VS13, R, T, V	16.67 ab	( 7.11 -- 34.32 )
VS13, IBA, T, V	6.67 b	( 1.67 -- 23.07 )
VS13, IBA, T, E	6.67 b	( 1.67 -- 23.07 )
VS13, IBA, B, V	6.67 b	( 1.67 -- 23.07 )
VS13, IBA, B, E	6.67 b	( 1.67 -- 23.07 )
VS13, R, B, V	3.33 b	( 0.46 -- 20.20 )

\* Letras distintas indican diferencias significativas al 0.05.

Del estudio de ambos cuadros, se puede afirmar que los clones tuvieron un porcentaje promedio de callos del orden del 15 %. Así mismo, se observa un tratamiento superior para cada clon, que resulta ser la combinación R T V para el clon VS8, y R T E para el clon VS13.

**Patrón e2: callo con raíces que emergen de éste.**

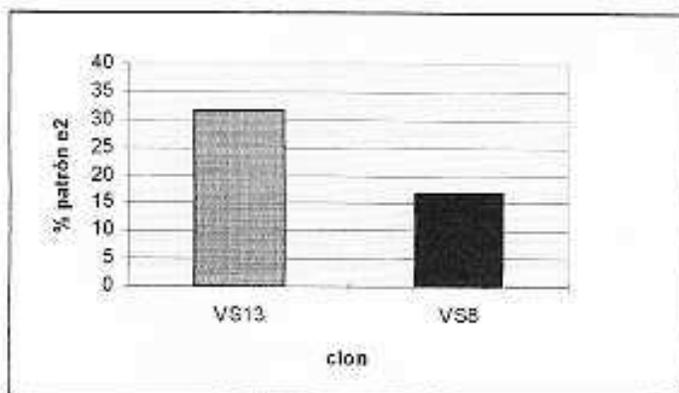
Este patrón de enraizamiento conjuntamente con el patrón e1, fueron los que tuvieron mayor frecuencia de aparición en el ensayo. Se presentaron diferencias significativas en los factores clon y envase.

Los efectos individuales de cada factor significativo, se muestra en el cuadro N° 7 y se ilustra en los gráficos N° 6 y 7.

**Cuadro N° 7: Efecto del clon y el envase en el porcentaje del patrón e2.**

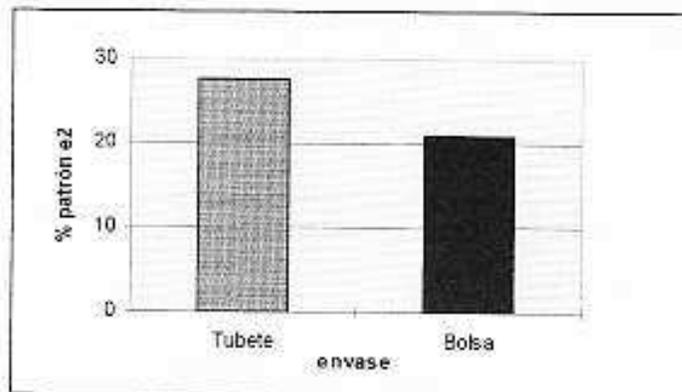
Factor		% patrón e2
CLON	VS13	31.6 a
	VS8	16.7 b
ENVASE	Tubete	27.5 a
	Bolsa	20.8 b

\* Letras distintas indican diferencias significativas al 0.05.



**Gráfico N° 6: Porcentaje del patrón e2 en función del clon utilizado.**

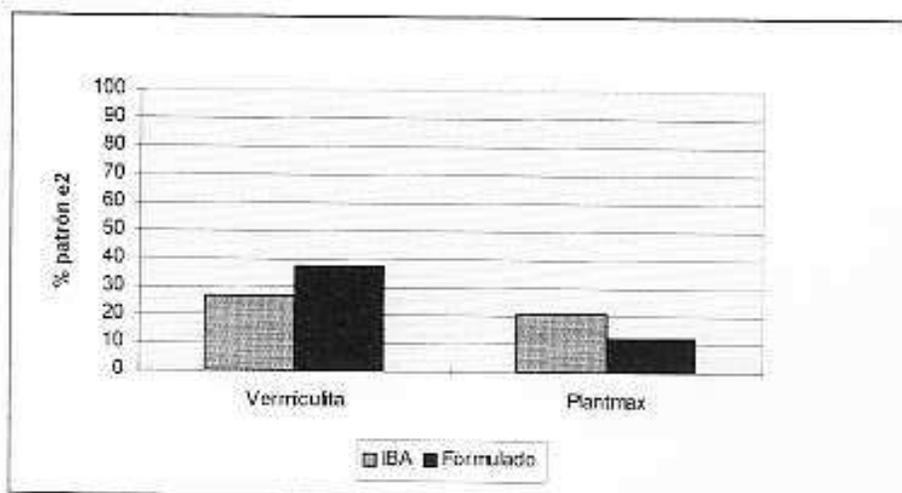
Como se aprecia en el gráfico, el clon VS13 tuvo una respuesta superior en el porcentaje del patrón analizado. Al respecto Adendorff y Schon (1991), comentan la variabilidad clonal entre especies, y dentro de éstas, en la calidad del sistema radicular o "tipo" de enraizamiento logrado.



**Gráfico N° 7: Porcentaje del patrón e2 en función del envase utilizado.**

El envase tubete resultó ser más efectivo en el desarrollo de dicho patrón de enraizamiento. Como fue discutido anteriormente, una posible explicación de lo ocurrido, se basa en mejores condiciones para el desarrollo radicular como ser un drenaje más efectivo del tubete frente a la bolsa.

Ciertas interacciones fueron significativas, desarrollándose a continuación:



**Gráfico N° 8: Efecto de la interacción sustrato x fitoregulador en el porcentaje de patrón e2.**

El sustrato vermiculita independientemente del fitoregulado utilizado, tiene una mejor respuesta en la formación del patrón e2.

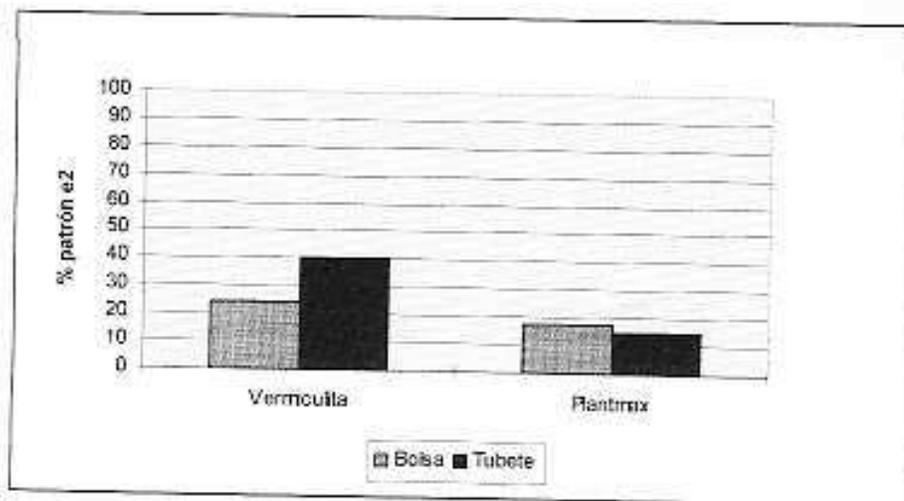


Gráfico N° 9: Efecto de la interacción envase x sustrato en el porcentaje de patrón e2.

Se observa que el porcentaje de dicho patrón se ve favorecido por el sustrato vermiculita, siendo la combinación vermiculita y tubete la más elevada.

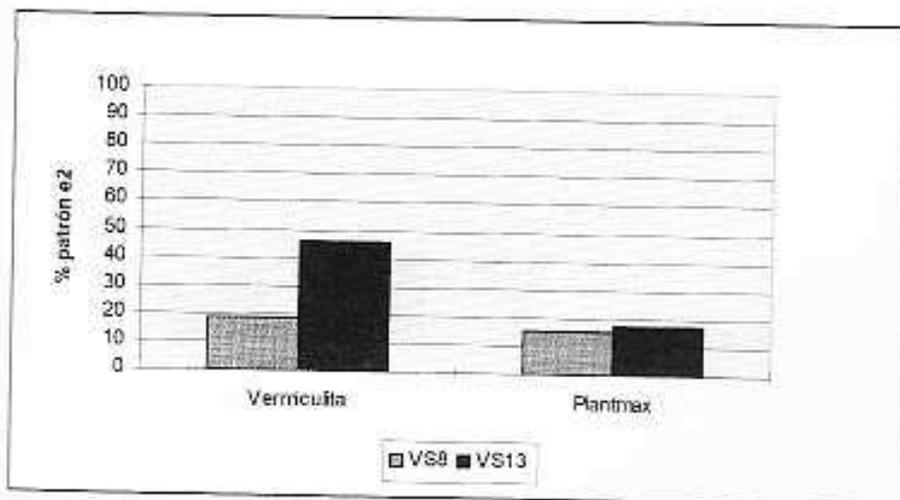
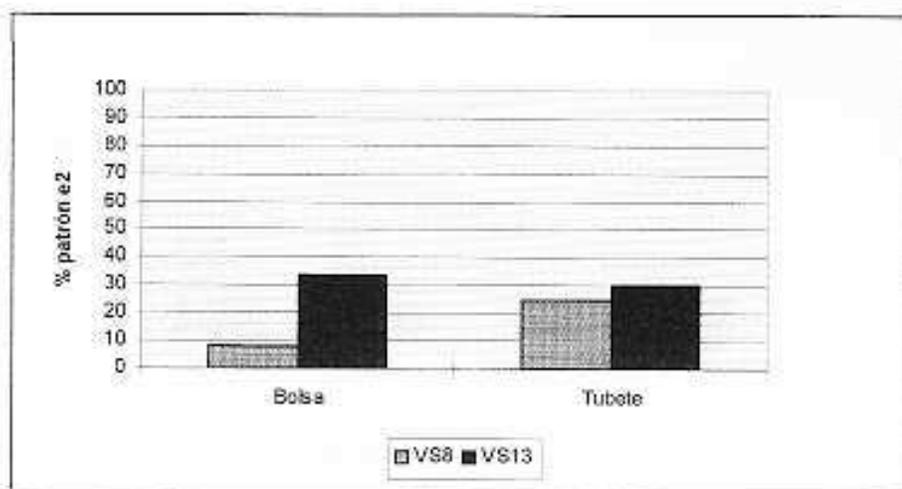


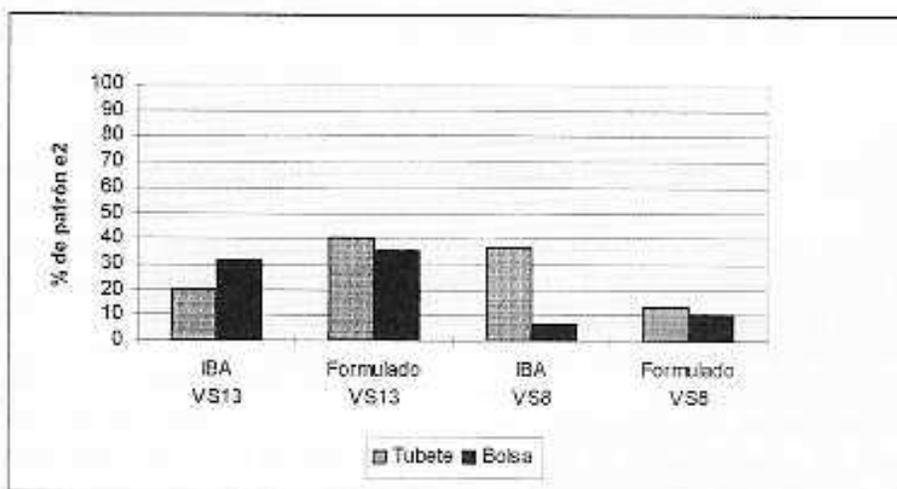
Gráfico N° 10: Efecto de la interacción clon x sustrato en el porcentaje del patrón e2.

En el gráfico surge que independientemente del clon utilizado, la vermiculita resulta ser el mejor sustrato.



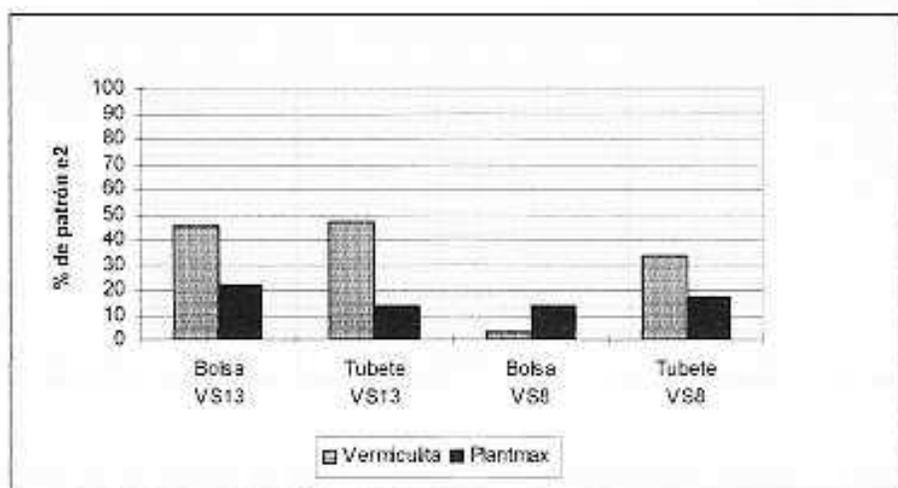
**Gráfico N° 11: Efecto de la interacción clon x envase en el porcentaje de patrón e2.**

Se aprecia una tendencia a que el envase tubete promueve un mayor porcentaje del patrón e2, si bien el clon VS13 presenta una respuesta elevada cuando se combina con la bolsa.



**Gráfico N° 12: Efecto de la interacción clon x envase x fitoregulador en el porcentaje de patrón e2.**

Independientemente del fitoregulador y clon utilizado, se aprecia una tendencia a una mejor respuesta de dicho patrón cuando ambos factores se combinan con el envase tubete.



**Gráfico N° 13: Efecto de la interacción clon x envase x sustrato en el porcentaje del patrón e2.**

Los resultados indican una mayor ocurrencia del patrón e2 para el clon VS13.

Con la vermiculita como sustrato, se obtienen los mayores porcentajes de dicho patrón, obteniéndose una respuesta superior para ambos clones cuando se combinan con el envase tubete.

Analizadas las interacciones que anteceden, se resume que el sustrato vermiculita y el envase tubete, aparecen como la combinación más efectiva en promover el patrón e2.

La vermiculita es un material inerte, poroso con una mejor capacidad de drenaje que el sustrato Plantmax, lo cual mantiene un nivel de aireación adecuado en el medio de enraizamiento. Hartmann y Kester (1974), determinan que el medio de enraizamiento no solo influye en el porcentaje de estacas que enraicen, sino que también en el sistema radicular que se forme.

Con respecto al tubete, el presentar un menor volumen que la bolsa y un diseño con un gran orificio en su parte inferior, permiten un drenaje rápido del agua en exceso.

**Cuadro N° 8: Efecto de la interacción clon, fitoregulador, envase y sustrato en el porcentaje del patrón e2 para el clon VS8.**

TRATAMIENTO	PORCENTAJE	INTERVALO DE CONFIANZA (95 %)
VS8, IBA, T, V	50.00 a	( 32.83 -- 67.17 )
VS8, IBA, T, E	23.33 ab	( 11.55 -- 41.50 )
VS8, R, T, V	16.67 ab	( 7.11 -- 34.32 )
VS8, IBA, B, E	13.33 b	( 5.10 -- 30.59 )
VS8, R, B, E	13.33 b	( 5.10 -- 30.59 )
VS8, R, T, E	10.00 b	( 3.26 -- 26.81 )
VS8, R, B, V	6.67 b	( 1.67 -- 23.07 )
VS8, IBA, B, V	0.00 c	( 0.00 -- 0.00 )

**Cuadro N° 9: Efecto de la interacción clon, fitoregulador, envase y sustrato en el porcentaje del patrón e2 para el clon VS13.**

TRATAMIENTO	PORCENTAJE	INTERVALO DE CONFIANZA (95 %)
VS13, R, T, V	66.67 a	( 48.35 -- 81.03 )
VS13, R, B, V	60.00 ab	( 41.95 -- 75.69 )
VS13, IBA, B, E	33.33 abc	( 18.97 -- 51.65 )
VS13, IBA, B, V	30.00 bc	( 16.41 -- 48.34 )
VS13, IBA, T, V	26.67 bc	( 13.93 -- 44.96 )
VS13, R, T, E	13.33 c	( 5.10 -- 30.59 )
VS13, IBA, T, E	13.33 c	( 5.10 -- 30.59 )
VS13, R, B, E	10.00 c	( 3.26 -- 26.81 )

\* Letras distintas indican diferencias significativas al 0.05.

La combinación T V mencionada anteriormente, se comporta claramente superior para ambos clones, si bien combinada con el formulado comercial para el clon VS13, y con IBA para el clon VS8.

### Patrones de enraizamiento e3, e4, y e5:

Debido a que estos patrones de enraizamiento que corresponden a callo con raíces que emergen por encima de éste, raíces solas y callo con raíces que emergen de éste y otras por encima respectivamente, se encontraban en frecuencias muy bajas o no existentes para los diferentes tratamientos evaluados, no fue posible realizar un análisis de varianza, que permitiese una comparación estadística para caracterizarlos.

#### 4.4 LONGITUD RADICULAR.

El parámetro longitud radicular fue evaluado en dos modalidades; por proyección y por curvimetro.

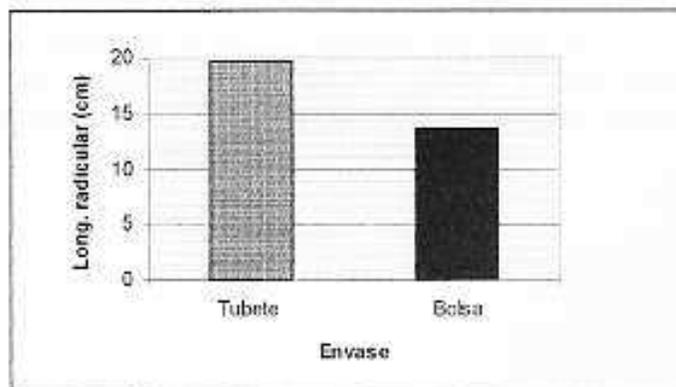
##### 4.4.1 Longitud por proyección.

Se encontraron diferencias significativas para los factores envase y fitoregulador utilizados. Se detallan los resultados en el cuadro N° 10 ilustrándose en los gráficos N° 14 y 15.

**Cuadro N° 10: Efecto del envase y fitoregulador utilizado en la longitud radicular por proyección.**

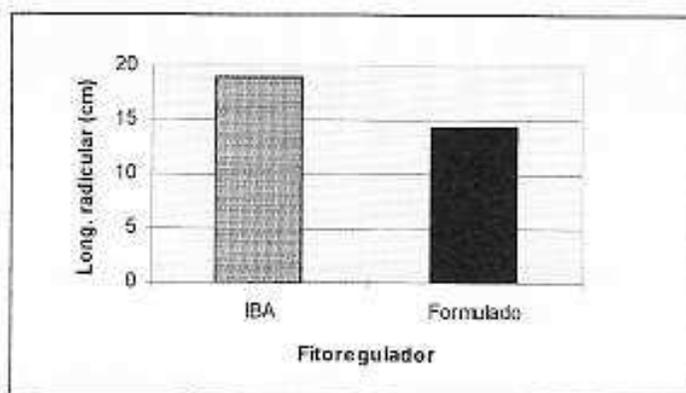
Factor		Long. Radicular (cm)
ENVASE	Tubete	19.7 a
	Bolsa	13.6 b
FITOREGULADOR	IBA	19.0 a
	Formulado	14.3 b

\* Letras distintas indican diferencias significativas al 0.05.



**Gráfico N° 14: Longitud radicular por proyección en función del envase utilizado.**

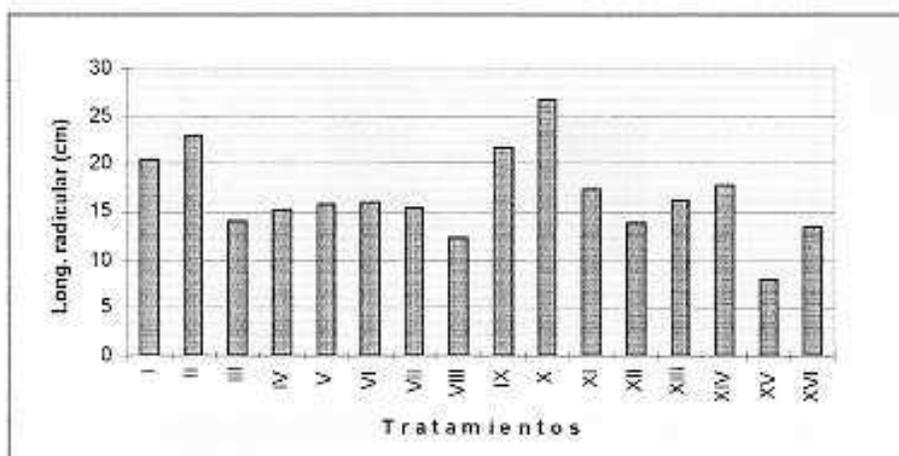
Promedialmente los tratamientos que presentan como envase al tubete, registran un valor superior en longitud radicular. Este hecho, puede ser atribuido a la mayor profundidad que presenta dicho envase con respecto a la bolsa, así como también al mecanismo de conducción del sistema radicular por medio de estrías en el tubete que reduce problemas de espiralamiento y modificaciones en el curso de las raíces.



**Gráfico N° 15: Longitud radicular por provección en función del fitoregulador utilizado.**

El uso del fitoregulador IBA, con respecto al formulado promueve una mayor longitud radicular.

Como se observa en el gráfico siguiente que resulta del anexo N° 9, los tratamientos que combinan al envase tubete y fitoregulador IBA, independientemente del clon y sustrato utilizados, son los que tienen mayor longitud radicular, identificados con los números romanos I, II, IX, X.



**Gráfico N° 16: Longitud radicular promedio por provección.**

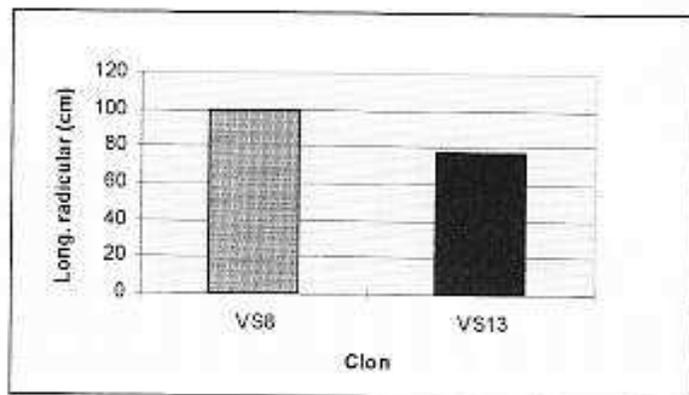
#### **4.4.2 Longitud radicular por curvímetero.**

Presenta diferencias significativas para los factores clon y envase utilizados, detallándose a continuación en el cuadro N° 11 los resultados, con ilustración en gráficos N° 17 y 18.

**Cuadro N° 11: Efecto del clon y fitoregulador utilizado en la longitud radicular por curvímetero.**

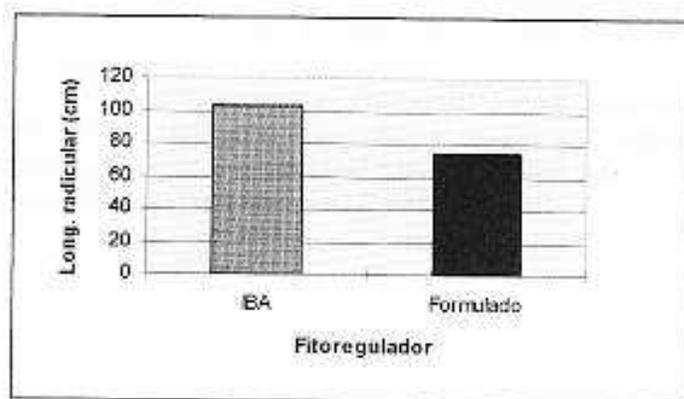
Factor		Long. Radicular (cm)
CLON	VS8	100.1 a
	VS13	76.8 b
FITOREGULADOR	IBA	103.0 a
	Formulado	73.8 b

\* Letras distintas indican diferencias significativas al 0.05.



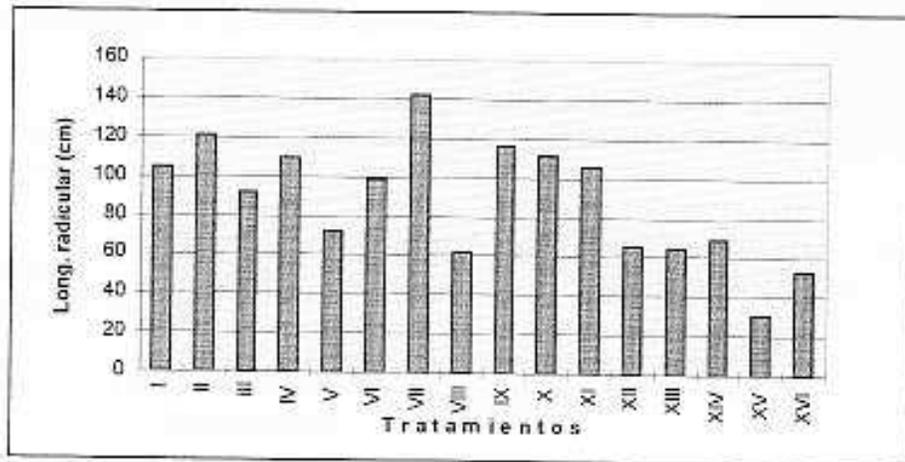
**Gráfico N° 17: Longitud radicular por curvímetero en función del clon utilizado.**

Se aprecia que el clon VS8 presenta una mayor longitud radicular medida por curvímetero, lo cual está indicando la capacidad de dicho clon en desarrollar un sistema radicular más abundante.



**Gráfico N° 18: Longitud radicular por curvímetero en función del fitoregulador utilizado.**

Al igual que en la longitud por proyección, el fitoregulador IBA tiene una respuesta superior con respecto al formulado comercial Raizal.



**Gráfico N° 19: Longitud radicular promedio por curvímetero.**

Del análisis del gráfico basado en el anexo N° 10 , se desprende que existe una respuesta superior en longitud promedio, cuando el clon utilizado es VS8 y el fitoregulador IBA.

La combinación R B V con el clon VS8 tiene el mayor valor de longitud radicular, pasando al peor valor con el clon VS13, lo que evidencia el efecto significativo del clon para este parámetro.

Promedialmente, los tratamientos cuyo envase es tubete presentan mayor longitud radicular por curvímetero que con bolsa, lo que no concuerda con lo habitual, si consideramos que la bolsa tiene mayor volumen para la exploración radicular y por consiguiente para el desarrollo de las mismas.

#### 4.5. NUMERO DE RAICES GRUESAS.

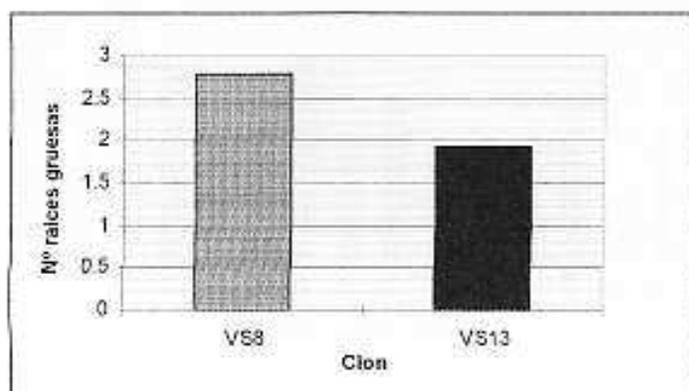
El número de raíces gruesas presentado, corresponde al promedio por estaca enraizada por tratamiento, siendo definidas como las raíces de emergencia primaria en la estaca.

Se encontraron diferencias significativas en los factores clon y envase utilizados, resumiéndose en el cuadro N° 12 y en los gráficos N° 20 y 21 los resultados obtenidos:

**Cuadro N° 12: Efecto del clon y sustrato utilizado en el número de raíces gruesas.**

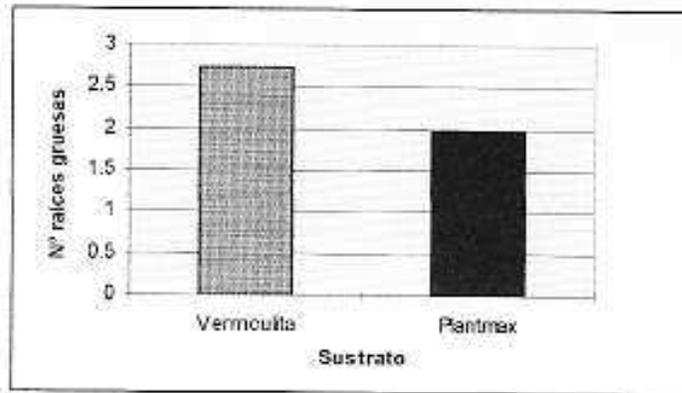
Factor		Número raíces
CLON	VS8	2.79 a
	VS13	1.92 b
SUSTRATO	Vermiculita	2.73 a
	Plantmax	1.97 b

\* Letras distintas indican diferencias significativas al 0.10.



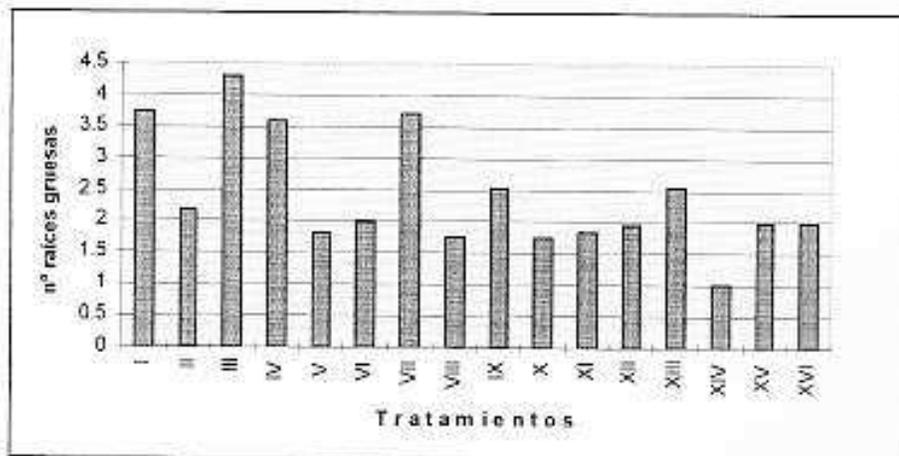
**Gráfico N° 20: Número de raíces gruesas en función del clon utilizado.**

El clon VS8 produce promedialmente un 50 % más de raíces gruesas que el clon VS13, por lo que el genotipo utilizado estaría condicionando dicho parámetro.



**Gráfico N° 21: Número de raíces gruesas en función del sustrato utilizado.**

El sustrato vermiculita promueve un mayor número de raíces gruesas que el Plantmax lo que puede deberse a que la vermiculita es un sustrato poroso, de consistencia liviana y bien aerado, no presentando en su estructura ningún obstáculo para el desarrollo de las raíces.



**Gráfico N° 22: Número de raíces gruesas promedio por tratamiento.**

El promedio del número de raíces oscila entre 1 y 4, correspondiendo este último valor al tratamiento VS8, IBA, B, V identificado con el número III en el gráfico (ver anexo N° 11).

Al respecto Sasse y Sands, 1997, definen un rango de raíces gruesas de 1 a 4 como frecuente de encontrar, dependiendo dicho valor del sistema de propagación utilizado.

#### 4.6 BIOMASA EVALUADA A TRAVES DEL PESO SECO RADICULAR Y AEREO.

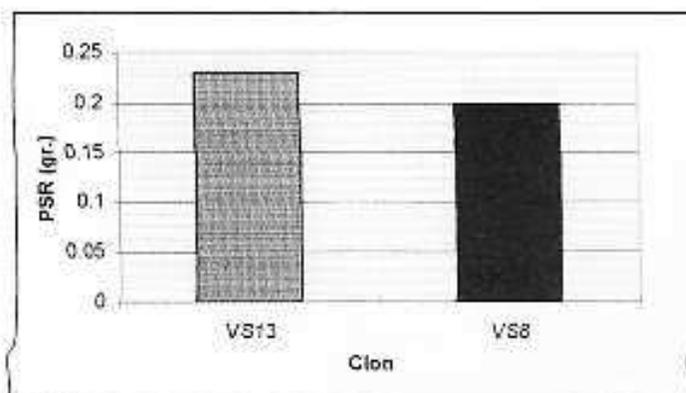
##### 4.6.1 Peso seco radicular.

Este parámetro presenta efectos significativos para los factores clon, fitoregulador, sustrato y la interacción clon x fitoregulador. Los resultados se detallan en el cuadro N° 13 y gráficos N° 23 al 27.

**Cuadro N° 13: Efecto del clon, fitoregulador y sustrato utilizado en el peso seco radicular.**

Factor		PSR ( gr.)
CLON	VS13	0.23 a
	VS8	0.20 b
FITOREGULADOR	IBA	0.23 a
	Formulado	0.19 b
SUSTRATO	Vermiculita	0.23 a
	Plantmax	0.20 b

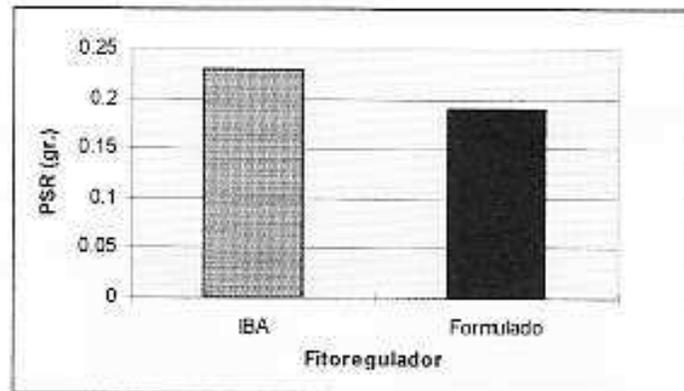
\* Letras distintas indican diferencias significativas al 0.05.



**Gráfico N° 23: Peso seco radicular en función del clon utilizado.**

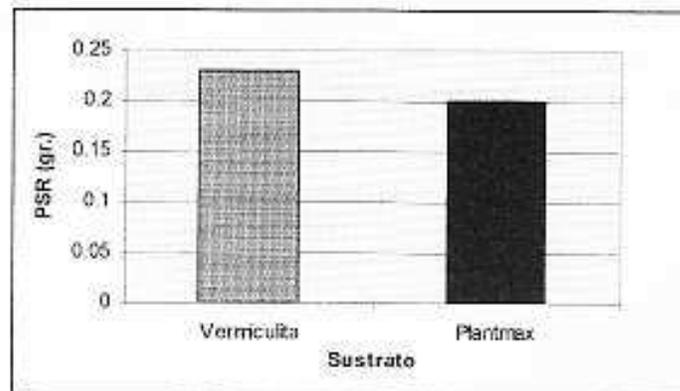
El clon VS13 presenta en promedio un mayor peso seco radicular con respecto al clon VS8, lo que no se asocia con resultados de parámetros

relacionados anteriormente expuestos. El clon VS8, tuvo en promedio un mayor número de raíces gruesas, así como una mayor longitud radicular por curvímetro lo que teóricamente debería haber producido un mayor peso seco radicular para este clon.



**Gráfico N° 24: Peso seco radicular en función del fitoregulador utilizado.**

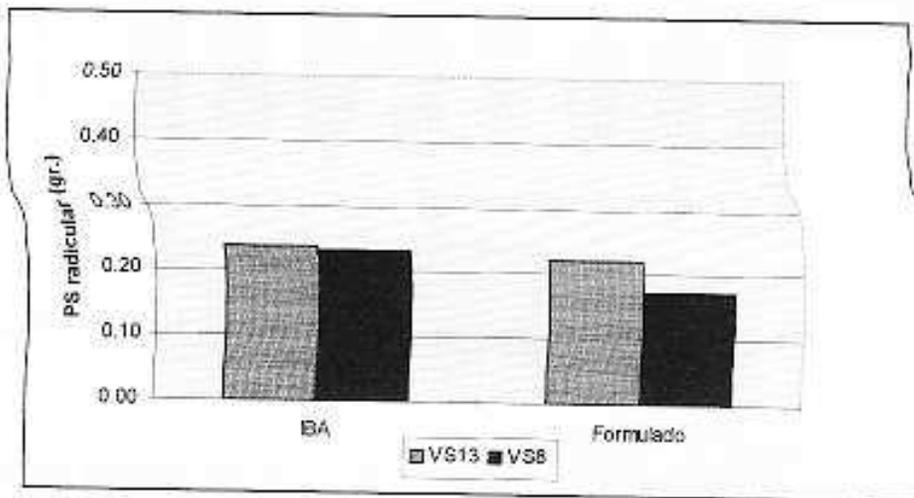
El fitoregulador IBA muestra una respuesta superior al formulado. Este hecho se corresponde con la mayor longitud radicular tanto por proyección como por curvímetro, donde se aprecian diferencias significativas en el fitoregulador, siendo el IBA quien da en promedio mayor longitud radicular.



**Gráfico N° 25: Peso seco radicular en función del sustrato utilizado.**

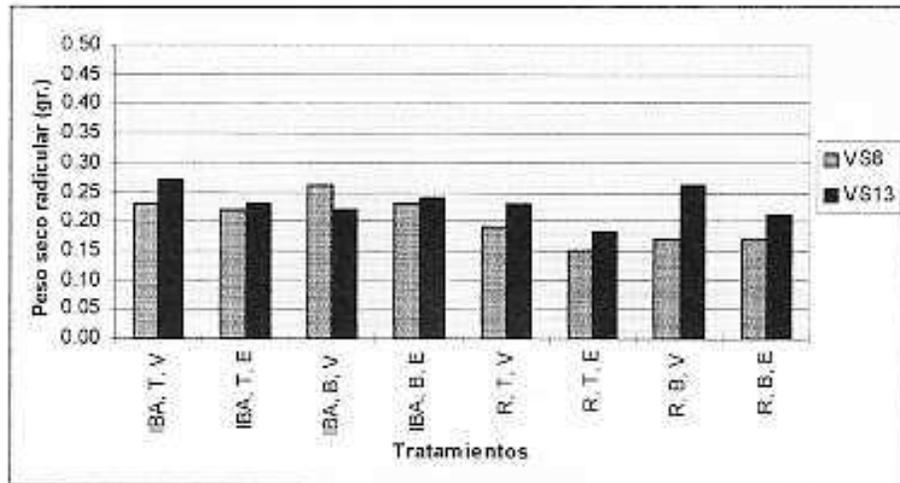
El parámetro analizado se encuentra afectado por el medio de enraizamiento, y el aporte de nutrientes, no generaría una respuesta en biomasa radicular (com. pers. Bennadji, Z.). Esto concuerda con los resultados obtenidos,

donde el sustrato Plantmax a pesar de aportar nutrientes no genera mayor biomasa promedio que la vermiculita; sustrato inerte, con condiciones de porosidad, aereación, y buen drenaje que facilitan el desarrollo radicular.



**Gráfico N° 26: Efecto de la interacción clon x fitoregulador en el peso seco radicular.**

Del gráfico surge que el fitoregulador IBA independientemente del clon, tiene una mejor respuesta en el peso seco radicular. Este resultado se corresponde con lo anteriormente mencionado al analizar dicho factor individualmente.



**Gráfico N° 27: Peso seco radicular promedio por tratamiento.**

En dicho gráfico, se aprecian las tendencias que se describieron en los análisis anteriores de este parámetro, donde el fitoregulador IBA y el sustrato vermiculita en promedio, presentan un mayor peso seco radicular.

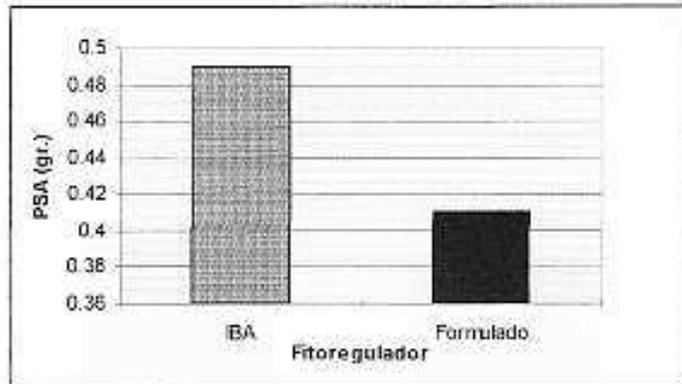
#### 4.6.2 Peso seco aéreo.

Se encontraron diferencias significativas para los factores fitoregulador, sustrato así como en interacciones clon x fitoregulador y clon x sustrato x envase x fitoregulador. Los datos obtenidos se muestran en el cuadro N° 14 y en los gráficos N° 28 al 31.

**Cuadro N° 14: Efecto del fitoregulador y sustrato utilizado en el peso seco aéreo.**

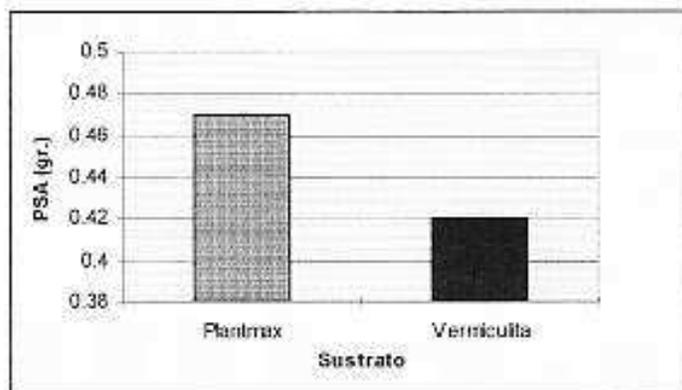
Factor		PSA ( gr.)
FITOREGULADOR	IBA	0.49 a
	Formulado	0.41 b
SUSTRATO	Plantmax	0.47 a
	Vermiculita	0.42 b

\* Letras distintas indican diferencias significativas al 0.05.



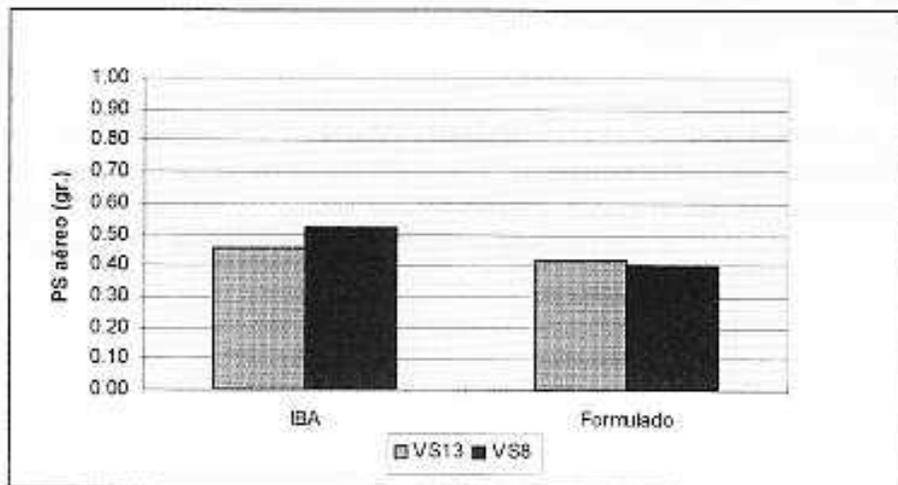
**Gráfico N° 28: Peso seco aéreo en función del fitoregulador utilizado.**

El IBA genera un mayor peso seco aéreo promedio comparado con el formulado.



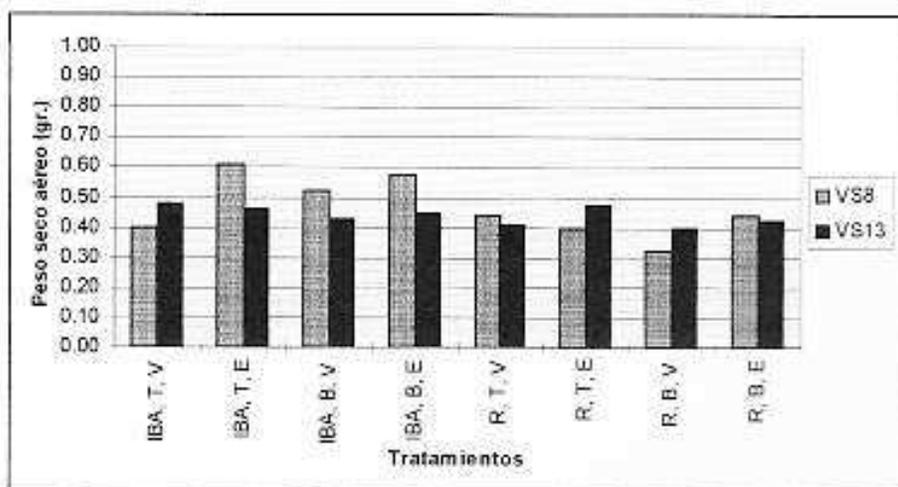
**Gráfico N° 29: Peso seco aéreo en función del sustrato utilizado.**

La superioridad del Plantmax con respecto a la vermiculita para este parámetro puede deberse al efecto generado por nutrientes aportados por el plantmax, los que estimularían en mayor grado el desarrollo de la parte aérea (com. pers. Bennadji, Z.).



**Gráfico N° 30: Efecto de la interacción clon x fitoregulator en el peso seco aéreo.**

Se aprecia una respuesta similar y superior para ambos clones cuando se combinan con el fitoregulator IBA.



**Gráfico N° 31: Peso seco aéreo promedio por tratamiento.**

Al analizar en conjunto todos los tratamientos, se puede determinar que en promedio el fitoregulador IBA y el sustrato Plantmax incrementarían el desarrollo en biomasa de la parte aérea.

En función de los resultados obtenidos para la biomasa, tanto de la parte aérea como radicular, no es posible aportar elementos sobre calidad del sistema radicular ya que no se cuenta con resultados similares de su arquitectura o configuración ( longitud, número de raíces gruesas) que lo respalden.

## 5. CONCLUSIONES Y PERSPECTIVAS.

-El trabajo realizado es de fin de serie en multiplicación vegetativa, habiéndose enfocado hacia el estudio del sistema radicular en estacas, ya que en varios trabajos previos de investigación se ha observado la problemática del enraizamiento como una limitante en la implementación de la forestación clonal con éxito.

-Resultó ser novedoso y complejo debido a que la bibliografía disponible fue muy antigua o muy reciente, no existiendo por consiguiente un esfuerzo sostenido en la investigación para ofrecer un respaldo en la interpretación de los resultados.

-Se generó mayor información sobre el sistema radicular de material selecto propagado por estacas, habiéndose identificado cinco patrones de enraizamiento en base a la configuración observada del sistema radicular: callo sólo, callo con raíces que emergen de éste, callo con raíces anteriores, únicamente raíces y callo con raíces que emergen de éste y otras anteriores

Al respecto el clon U2 tendió a formar callo sólo, el clon VS13 a la formación de callo con raíces que emergen de éste, y el clon VS8 debido a la dispersión de los resultados no permitió concluir una tendencia definida.

-Por medio de un estudio comparativo de tipo cualitativo en plantas propagadas por semilla se definieron tres patrones de enraizamiento: *raíz principal y laterales*, *sin raíz principal definida* y *raíz principal bifurcada*. El sistema radicular típico se corresponde con el primer caso, siendo los otros dos más frecuentes en la modalidad repique.

-El porcentaje de enraizamiento superior para los tres clones evaluados se logró con la combinación formulado comercial, tubete y vermiculita. De acuerdo a los porcentajes de enraizamiento promedio por clon, es clave la utilización de material vegetal en cantidad y calidad en la realización de ensayos futuros o a nivel comercial.

-Los resultados obtenidos para los diferentes parámetros analizados estadísticamente han sido en general erráticos, entendiéndose que se debería ajustar en futuras investigaciones la metodología aplicada en la caracterización de los parámetros.

No es posible por tanto, en esta etapa de la investigación, extrapolar a nivel comercial una combinación de factores óptima.

-A futuro debe considerarse la implementación de diseños experimentales más complejos y contundentes, el trabajar con técnicas de medición más precisas y prácticas , por ejemplo con un analizador de imagen, mejorar la metodología y aportar nuevos elementos en el análisis ( volumen radicular, color, etc.). Estos elementos permitirán afinar o mejorar los resultados, facilitando con mayor seguridad el establecimiento de pautas para el futuro desarrollo de la forestación clonal a nivel comercial.

## **6. RESUMEN**

El presente trabajo tiene como objetivo el estudio del sistema radicular de clones selectos de *Eucalyptus grandis* con el propósito de determinar patrones de enraizamiento de estacas y condiciones óptimas para su producción, evaluando el efecto de diferentes sustratos, envases y fitoreguladores. Adicionalmente, mediante la realización de un ensayo con plantas propagadas de semilla de los mismos clones, se compararon los diferentes patrones de enraizamiento logrados.

Se utilizaron tres clones obtenidos de pies madres de árboles "plus" seleccionados de plantaciones comerciales de todo el país, los cuales luego de comprobada su superioridad, se les evaluó la capacidad de enraizamiento "in vitro". Como sustrato se utilizó vermiculita y Plantmax (sustrato comercial), los envases fueron tubetes y bolsas y los fitoreguladores AIB (ácido indol butírico) y un formulado comercial.

Se realizó un diseño experimental completamente al azar, factorial completo, agrupando 24 tratamientos, resultado de la combinación clon (3) x sustrato (2) x envases (2) x fitoregulador (2), con 30 repeticiones por tratamiento. El ensayo se desarrolló en un invernáculo en condiciones ambientales controladas.

Para el restante ensayo de plantas de semilla, se efectuó el mismo diseño experimental pero con la incorporación de las modalidades de siembra directa y repique, utilizando los mismos clones, envases y sustratos. Dicho ensayo se llevó a cabo en un sombráculo.

El ensayo de estacas se realizó desde el 10 de diciembre de 1997 al 4 de febrero de 1998 y el de semilla desde el 19 de agosto de 1997 al 12 de noviembre de 1997.

El análisis estadístico en estacas consistió en la determinación de cinco variables: patrones de enraizamiento, longitud radicular por proyección y curvímetro, número de raíces gruesas y biomasa vegetal apreciada a través del peso seco aéreo y radicular.

En plantas de semilla se procedió sólo a la identificación de patrones de enraizamiento, y su comparación con los obtenidos en el ensayo anterior.

Se determinaron cinco patrones de enraizamiento en estacas, no surgiendo una relación clara entre la ocurrencia de los patrones de enraizamiento identificados y las combinaciones de condiciones de producción probadas.

La dispersión estadística de los resultados de las diferentes variables analizadas no permiten definir una combinación óptima de condiciones de producción para el mejor desarrollo del sistema radicular de los clones. Sin embargo, la combinación formulado comercial, tubete y vermiculita es la que da el mayor porcentaje de enraizamiento para los tres clones estudiados.

Se recomiendan estudios sistemáticos del sistema radicular de estacas de clones selectos de *Eucalyptus* por la importancia de su impacto a nivel comercial (resistencia al estrés de transplante y problemas de vuelco).

## 7. SUMMARY

The objective of this work is to study the root system of *Eucalyptus grandis* selected clones through the determination of his development patterns and the best combination of production factors.

Three clones were used which have been obtained from hedges of "plus" trees selected from commercial plantations all over the country. Once the superiority have been proved, the next step was to evaluate the effective rooting capacity "in vitro". Vermiculite and Plantmax (commercial growing media) were used as growing media, the containers were tubes and bags, the hormones, AIB (indol butyric acid) and a commercial product.

For the experiment a completely randomized desing was planned, factorial complete, including 24 treatment, as a result of the combination between the clone (3) x growing media (2) x containers (2) x rooting hormone (2), with 30 repetition per treatment. The experiment was set up in a glasshouse with atmospher control conditions.

The same experimental design was used, for the comparative study of the rooting of half - sib seedling by the mean of direct sowing and pealing. This trial was developed in a shaded area, using the same clones, containers and growing media.

The cutting test took from 10th of december, 1997 till the 4th february, 1998, and the seedling plants experiment from the 19th august till 12 december, 1997.

The assessment of the rooting of cutting consisted of the determination of five variables: patterns of rooting, root length per projection and curvimeter, number of thick roots and vegetable biomass apreciale through the dry aerial weigh and radicule.

In the *Eucalyptus grandis* "plus" trees progenie seedlings, the method used was only to identify the rooting patterns with the results obtained in the cutting experiment.

Five patterns of cutting rooting were determined. There is no clear relation between the happening of these patterns and the combination of production conditions proved.

The statistical dispersions of the factors studies didn't allowed to define an optimal combination of production conditions.

Because of the importance of its impact at commercial level, the sistematic studies of the root system of cuttings of selected clones from the *Eucalyptus* are recommended.

## 8. BIBLIOGRAFIA

1. ADENDORFF, M. W.; SCHON, P.P. 1991. Root strike and root quality: The key to commercial success. In Symposium on Intensive Forestry: The role of Eucalypts, (1991, Durban, South Africa) Proceedings. Pretoria, IUFRO. pp. 30 - 38.
2. ASSIS, T. 1996. Utilização comercial da propagação agâmica de espécies de Eucalyptus. In Jornadas Forestales de Entre Ríos, (11a, 1996, Concordia). Concordia, INTA. pp. 10 - 16.
3. -----: 1997. Propagação Vegetativa de Eucalyptus por Microestaquia. In Conferencia IUFRO sobre Silvicultura e Melhoramento de Eucaliptos, (1997, Salvador, Brasil) Proceedings. Colombo, EMBRAPA. pp. 300- 301.
4. BENNADJI, Z.; METHOL, R.; TRUJILLO, Y.; RESQUÍN, F. 1997. Líneas de investigación en mejoramiento genético de Eucalyptus del Programa Nacional Forestal del INIA. In Conference IUFRO sobre Silviculture e Melhoramento de Eucaliptos, (1997, Salvador, Brasil) Proceedings. Colombo, EMBRAPA. pp. 253 - 255.
5. -----; Uetsuki, Y.; Dalera, O. 1998. Propagación Vegetativa de Especies de Eucalyptus. INIA. Serie de Difusión N° 157. pp 72 - 78.
6. BONGA, J. M. 1982. Vegetative Propagation in Relation to Juvenility, Maturity and Rejuvenation. In Bonga, J. M. and Durzan, D. J. ed. Tissue Culture in Forestry. Boston, London. Nijhoff, M.; Junk, W. Publishers. pp. 387-412.
7. CARPINETTI, L. 1996. Propagación Agâmica de Eucalyptus. In Jornadas Forestales de Entre Ríos, (11a, 1996, Concordia). Concordia, INTA. pp. 17 - 29.
8. CARTER, A.; SLEE, M. 1991. Propagation Media and Rooting cuttings of Eucalyptus grandis. In Symposium on Intensive Forestry: The role of Eucalyptus, (1991, Durban, South Africa) Proceedings. Pretoria, IUFRO. pp 58 - 63.
9. CORDOBA, V. 1976. Fisiología vegetal. Madrid, Blume. 439 p.

10. DAVIDSON, N.P. 1973. Reproduction of *Eucalyptus deglupta* by cuttings. *New Zealand Jour. For. Sc.* 1974. 4 (2): 191 - 203.
11. DENISON, N.; KIETZKA, J. 1993. The development and utilization of vegetative propagation in Mondi for commercial afforestation programmes. *South African Forestry Journal.* 166: 53 - 60.
12. ESAU, K. 1972. Anatomia vegetal. 2a.ed. Barcelona, Omega. 780 p.
13. -----, 1982. Anatomia de las plantas por semilla. Buenos Aires, Hemisferio Sur. 512 p.
14. FAHN, A. 1974. Anatomia vegetal. Madrid, Blume. 643 p.
15. FERREIRA, M.; SANTOS, P.E.T. dos. 1997. Melhoramento Genético Florestal dos Eucalyptus no Brasil. Breve Histórico e Perspectivas. In Conferencia IUFRO sobre Silvicultura e Melhoramento de Eucaliptos, (1997, Salvador, Brasil) Proceedings. Colombo, EMBRAPA. pp. 14 - 32.
16. HARTMANN, H.; KESTER, D. 1974. Propagación de plantas. 3a.ed. Barcelona, Continental. 810 p.
17. IANNELLI, C.M.; CARDOSO, N.Z.; ORTIZ, M.R.A. 1997. Sistema radicular de mudas de Eucalipto produzidas por macroestaca e microestaca. In Conferencia IUFRO sobre Silvicultura e Melhoramento de Eucaliptos, (1997, Salvador, Brasil ) Proceedings. Colombo, EMBRAPA. pp. 178 - 181.
18. -----; COMERIO, J.; XAVIER, A. 1997. Eficiencia da Estaquia, da Microestaquia e da Micropropagação na Clonagem de *Eucalyptus* spp. In Conferencia IUFRO sobre Silvicultura e Melhoramento de Eucaliptos, (1997, Salvador, Brasil) Proceedings. Colombo, EMBRAPA. pp. 40 - 45.
19. IPINZA, C.; GUTIERREZ, C. 1992. Resultados preliminares de un Ensayo de enraizamiento de estaquillas de *Eucalyptus globulus* ssp. *globulus*. *Ciencia e Investigación Forestal.* 6 (1): 61 - 79.
20. LAGUARDIA, A; ZILIANI, G. 1992. Anatomia vegetal. Montevideo. Facultad de Agronomia. 72 p.

21. LINDGREN, D. 1977. Possibles Advantages and Risks connected with Vegetative Propagation for Reforestation. In Symposium Vegetative Propagation of Forest Trees, Physiology and Practices. Uppsala, Sweden. February, 16-17, 1977.
22. MACRAE, S.; REIS, J.A.A. 1997. Seasonality effect on the propagation of *Eucalyptus globulus* by stem cuttings. In Conferencia IUFRO sobre Silvicultura e Melhoramento de Eucalyptos, (1997, Salvador, Brasil) Proceedings. Colombo, EMBRAPA. pp. 172 - 177.
23. -----; COTTERILL, P.P. 1997. Macropropagation and micropropagation of *Eucalyptus globulus*: Means of capturing genetic gain. In Conferencia IUFRO sobre Melhoramento de Eucalyptos, (1997, Salvador, Brasil) Proceedings. Colombo, EMBRAPA. pp. 102 - 110.
24. MARIEN, J.N. 1991. Clonal Forestry in Marocco. In Symposium on Intensive Forestry : The role of Eucalypts, (1991, Durban, South Africa) Proceedings. Pretoria, IUFRO. pp. 126 - 132.
25. MENZIES, M. 1992. Management of stock plants for the production of cutting material. South African Forestry Journal. 156(2): 120 - 122.
26. QUIJADA, M. 1980. Métodos de propagación vegetativa. In Curso de Capacitación fao / danida sobre la mejora genética de árboles forestales ( Mérida, Venezuela, en - feb. 1980 ). Informe. Roma, FAO. pp. 189 - 196.
27. SASSE, J.; SANDS, R. 1997. Configuration and development of root systems of cuttings and seedlings of *Eucalyptus globulus*. New Forests. 14: 85 - 105.
28. SASSON, A. 1992. La micropropagation des plantes: réalité et priorité. Biofutur. 111: 34 - 38.
29. SIVORI, E.; MONTALDI, E.; CASO, O. 1980. Fisiología vegetal. Buenos Aires, Hemisferio Sur. 681 p.
30. SUTTON, R. F. 1969. Form and Development of Conifer Root Systems. Oxford, CAB. 131 p.
31. THOMPSON, D. 1990. Current state of the art of rooting cuttings and view to the future. Australian Forest Research. 60(3): 200 - 210.

32. VIEIRA, D.; BRESSAM, C.; DINIZ, A.S.; PLINIO SILVA, A.; de FREITAS, M. 1992. Clonal Silviculture at Champion e Celulose LTDA. Brazil. Mass Production Technology For Genetically Improved Fast Growing Forest Tree Species. Proceedings of Symposium Bordeaux France, 1992. (1): pp. 283 - 291.
33. WILSON, P. 1994. Contribution of the leaves and axillary shoots to rooting in *Eucalyptus grandis* ex Hill Maiden stem cuttings. *Journal of Horticultural Science*. 69 (6): 999 - 1007.
34. ZOBEL, B.; TALBERT, J. 1992. Técnicas de mejoramiento genético de árboles forestales. México, Limusa. 545 p.

## **9. ANEXO**

ANEXO N° 1.

PLANO DEL BANCO CLONAL DE *Eucalyptus grandis*

Bloque I

2	2	2	2	8	8	8	8	9	9	9	9
2	2	2	2	8	8	8	8	9	9	9	9
6	6	6	6	4	4	4	4	1	1	1	1
6	6	6	6	4	4	4	4	1	1	1	1
7	7	7	7	3	3	3	3	5	5	5	5
7	7	7	7	3	3	3	3	5	5	5	5

Bloque II

5	5	5	5	1	1	1	1	7	7	7	7
5	5	5	5	1	1	1	1	7	7	7	7
4	4	4	4	8	8	8	8	9	9	9	9
4	4	4	4	8	8	8	8	9	9	9	9
6	6	6	6	3	3	3	3	2	2	2	2
6	6	6	6	3	3	3	3	2	2	2	2

Bloque III

4	4	4	4	7	7	7	7	5	5	5	5
10	10	10	4	7	7	7	7	5	5	5	5
11	11	11	6	1	1	1	1	3	3	3	3
11	11	11	6	1	1	1	1	3	3	3	3
9	9	9	9	8	8	8	8	2	2	2	2
9	9	9	9	8	8	8	8	2	2	2	2

Bloque IV

11	11	6	6	5	5	5	5	8	8	8	8
11	11	6	6	5	5	5	5	8	8	8	8
12	12	1	1	2	2	2	2	9	9	9	9
12	12	1	1	2	2	2	2	9	9	9	9
10	10	4	4	7	7	7	7	3	3	3	3
10	10	10	4	13	7	7	7	3	3	3	3

## ANEXO N° 2.

### LISTA DE CLONES

Cuadro N° 21: Lista de clones localizados en el banco clonal.

<b>CODIGO</b>	<b>IDENTIFICACION</b>
1	VS 11
2	VS 8
3	VS 13
4	VS 4
5	VS 7
6	JLS / N
7	U 5
8	U 6
9	U 2
10	JL 1
11	JL 8
12	BIC 3
13	JL 22

**VS** = Villasboas ( Durazno ).

**JL** = Juan Lacaze ( Colonia ).

**U** = UTE ( Rincón del Bonete, Tacuarembó ).

**BIC** = Bicentenario ( Estación Experimental de Bañado Medina, Cerro Largo ).

### ANEXO N° 3.

#### CARACTERISTICAS Y MANEJO DEL BANCO CLONAL

- **Ubicación:** Establecimiento "La Magnolia".
- **Año de plantación:** 1995.
- **Superficie:** 0.5 ha.
- **Número de clones:** 13.
- **Distribución:** 4 bloques, c/bloque con 8 individuos por clon.
- **Espaciamiento:** 4 x 4 m entre plantas y 8 m entre bloques.
- **Manejo:**
  - Limpieza de malezas 2 veces al año; en un principio manuales, y posteriormente mecánicas en la entrefila.
  - Primer raleo para posterior manejo de rebrotes, en primavera de 1996.
  - Manejo de rebrotes en agosto de 1997 (tala raza o mantenimiento de dos a tres brotes según intensidad de daños de heladas).
  - Fertilización en agosto de 1997 a razón de 100 gr. de triple 15 por planta.
  - Control periódico de hormigas.

## ANEXO N° 4.

### CARACTERISTICAS DEL INVERNACULO

**Estructura:** prefabricado en aluminio con revestimiento de vidrios.

**Medidas:** 15.75 m de largo, 4.5 m de ancho y 3.6 m de alto.

**Riego:** es automático, funcionando con timer cuya frecuencia máxima es cada 5 min. con un rango de tiempo de riego de 0 a 60 seg.

Presenta un total de 41 aspersores con un caudal de 0.3 lt. de agua por min., cada uno. El agua es almacenada en un tanque de 1000 lt., acoplándosele una bomba EBARA con las siguientes características : presión 2.5 kg/cm<sup>2</sup>, 200 V y 750 W.

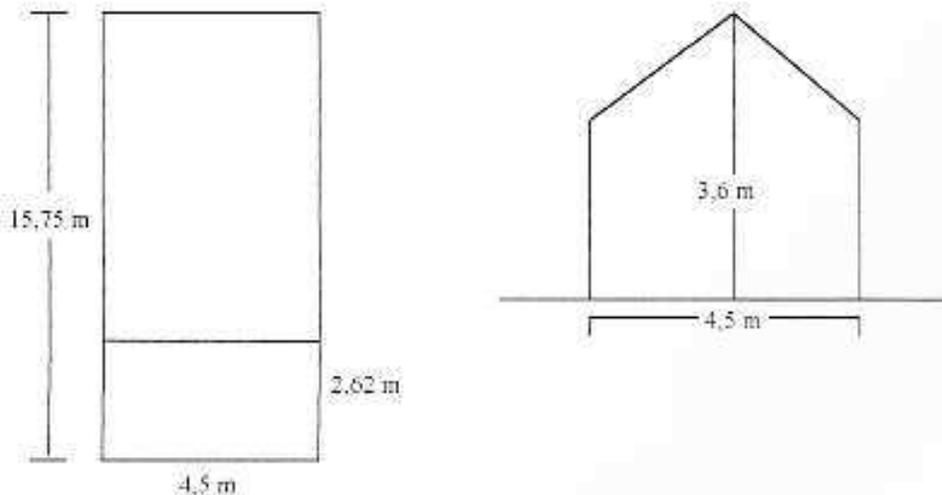
**Temperatura:** posee unicamente calefacción, en base a aire caliente suministrado por estufa con ventilador que funciona a keroseno.

La refrigeración es indirecta a través de sistemas de ventilación y sombra, como también de riego en techo mediante manguera con orificios conectada a timer de sistema de riego, activándose ambos simultaneamente.

**Humedad:** no posee control de humedad.

**Ventilación:** ventanas laterales de apertura manual y ventanas en techo de apertura manual y automática.

**Sombra:** dos cortinas por debajo del techo, con apertura manual y automática.



## ANEXO N° 5.

**Cuadro N° 22: Datos de observación meteorológica, Casilla Forestal, INIA - Tacuarembó.**

Período 19 / 08 / 1997 al 12 / 12 / 1997.

Mes	Promedios		
	Temp. mín. (°C)	Temp. máx. (°C)	H.R. (%)
19 / 8 --- 31 / 8	9.8	21.5	71.2
Setiembre	8.8	19.7	73.2
Octubre	11.2	22.2	74.2
Noviembre	14.2	25.4	75.8
1 / 12 --- 12 / 12	14.8	28.3	69.8
<b>Prom. período</b>	<b>11.8</b>	<b>23.4</b>	<b>72.8</b>

## ANEXO N° 6.

### Fórmula logit utilizada en el análisis estadístico.

#### Modelo lineal generalizado

$$\log ( p / 1-p ) = u + \text{efectos.}$$

donde :  $p$  = porcentaje de patrón de enraizamiento.

$u$  = media.

efectos = corresponden al clon, envase, sustrato, hormona y sus respectivas interacciones dobles y triples.

ANEXO N° 7.

PATRONES DE ENRAIZAMIENTO.

Cuadro N° 23: Niveles de significancia de factores e interacciones para el patrón de enraizamiento, sólo callo ( e1).

Fuente	DF	Chi cuadrado	Nivel de significancia Pr > Chi
CLO	1	0.5541	0.4567
ENV	1	0.0498	0.8234
CLO*ENV	1	1.2059	0.2721
SUS	1	4.7963	0.0285
CLO*SUS	1	0.0734	0.7865
ENV*SUS	1	0.3187	0.5724
CLO*ENV*SUS	1	1.4991	0.2208
HOR	1	14.4725	0.0001
CLO*HOR	1	1.4009	0.2366
ENV*HOR	1	1.4566	0.2275
CLO*ENV*HOR	1	0.0714	0.7893
SUS*HOR	1	1.4954	0.2214
CLO*SUS*HOR	1	13.9665	0.0002
ENV*SUS*HOR	1	4.2278	0.0398
CLO*ENV*SUS*HOR	1	1.5514	0.2129

## PATRONES DE ENRAIZAMIENTO.

**Cuadro N° 24:** Niveles de significancia de los factores e interacciones para el patrón de enraizamiento callo con raíces que emergen de éste ( c2).

Fuente	DF	Chi cuadrado	Nivel de significancia Pr > Ji
CLO	1	15.8969	0.0001
ENV	1	6.3634	0.0116
CLO*ENV	1	9.9013	0.0017
SUS	1	0.0094	0.9229
CLO*SUS	1	12.5335	0.0004
ENV*SUS	1	8.6857	0.0032
CLO*ENV*SUS	1	4.5243	0.0334
HOR	1	0.7530	0.3855
CLO*HOR	1	0.0687	0.7933
ENV*HOR	1	2.1611	0.1415
CLO*ENV*HOR	1	9.2089	0.0024
SUS*HOR	1	7.4670	0.0063
CLO*SUS*HOR	1	0.0264	0.8708
ENV*SUS*HOR	1	3.3873	0.0657
CLO*ENV*SUS*HOR	1	1.1823	0.2769

## LONGITUD RADICULAR MEDIDA POR PROYECCION.

Cuadro N° 25: Niveles de significancia de factores e interacciones de la variable longitud radicular por provacción.

Fuente	DF	F	Nivel de significancia Pr > F
CLO	1	0.05	0.8265
SUS	1	0.54	0.4635
CLO*SUS	1	0.39	0.5314
ENV	1	14.95	0.0002
CLO*ENV	1	0.81	0.3697
SUS*ENV	1	0.57	0.4515
CLO*SUS*ENV	1	0.00	0.9624
HOR	1	8.88	0.0036
CLO*HOR	1	0.78	0.3783
SUS*HOR	1	0.01	0.9163
CLO*SUS*HOR	1	0.91	0.3417
ENV*HOR	1	1.44	0.2329
CLO*ENV*HOR	1	0.16	0.6875
SUS*ENV*HOR	1	0.75	0.3895
CLO*SUS*ENV*HOR	1	1.31	0.2540

## LONGITUD RADICULAR MEDIDA POR CURVÍMETRO.

Cuadro N° 26: Niveles de significancia de factores e interacciones de la variable longitud radicular por curvímetero.

Fuente	DF	F	Nivel de significancia Pr > F
CLO	1	4.15	0.0441
SUS	1	0.16	0.6887
CLO*SUS	1	0.00	0.9535
ENV	1	1.16	0.2842
CLO*ENV	1	1.55	0.2152
SUS*ENV	1	1.84	0.1777
CLO*SUS*ENV	1	0.93	0.3380
HOR	1	6.50	0.0121
CLO*HOR	1	1.98	0.1625
SUS*HOR	1	0.03	0.8614
CLO*SUS*HOR	1	3.03	0.0843
ENV*HOR	1	0.48	0.4889
CLO*ENV*HOR	1	0.30	0.5862
SUS*ENV*HOR	1	0.37	0.5421
CLO*SUS*ENV*HOR	1	3.06	0.0831

## NUMERO DE RAICES GRUESAS.

Cuadro N° 27: Niveles de significancia de factores e interacciones de la variable número de raíces gruesas.

Fuente	DF	F	Nivel de significancia Pr > F
CLO	1	3.45	0.0658
SUS	1	2.60	0.1095
CLO*SUS	1	0.08	0.7808
ENV	1	0.83	0.3650
CLO*ENV	1	0.66	0.4181
SUS*ENV	1	0.17	0.6784
CLO*SUS*ENV	1	1.10	0.2969
HOR	1	1.72	0.1924
CLO*HOR	1	0.84	0.3616
SUS*HOR	1	0.05	0.8313
CLO*SUS*HOR	1	0.15	0.6967
ENV*HOR	1	0.07	0.7933
CLO*ENV*HOR	1	0.16	0.6911
SUS*ENV*HOR	1	0.29	0.5941
CLO*SUS*ENV*HOR	1	1.02	0.3150

## PESO SECO RADICULAR.

**Cuadro N° 28: Niveles de significancia de factores e interacciones de la variable peso seco radicular (PSR).**

Fuente	NDF	DDF	F	Nivel de significancia Pr > F
CLO	1	272	10.14	0.0016
SUS	1	272	8.37	0.0041
CLO*SUS	1	272	0.46	0.4978
ENV	1	272	0.50	0.4811
CLO*ENV	1	272	0.00	0.9907
SUS*ENV	1	272	1.49	0.2228
CLO*SUS*ENV	1	272	0.31	0.5758
HOR	1	272	20.35	0.0001
CLO*HOR	1	272	6.35	0.0123
SUS*HOR	1	272	1.21	0.2723
CLO*SUS*HOR	1	272	0.93	0.3366
ENV*HOR	1	272	0.35	0.5534
CLO*ENV*HOR	1	272	3.43	0.0650
SUS*ENV*HOR	1	272	0.12	0.7290
CLO*SUS*ENV*HOR	1	272	2.50	0.1150

**PESO SECO AEREO.**

**Cuadro N° 29: Niveles de significancia de factores e interacciones de la variable peso seco aéreo ( PSA ).**

<b>Fuente</b>	<b>NDF</b>	<b>DDF</b>	<b>F</b>	<b>Nivel de significancia Pr &gt; F</b>
CLO	1	297	1.01	0.3156
SUS	1	297	5.10	0.0247
CLO*SUS	1	297	2.03	0.1553
ENV	1	297	0.46	0.5000
CLO*ENV	1	297	0.47	0.4919
SUS*ENV	1	297	0.00	0.9736
CLO*SUS*ENV	1	297	0.00	0.9689
HOR	1	297	12.29	0.0005
CLO*HOR	1	297	3.91	0.0490
SUS*HOR	1	297	0.42	0.5189
CLO*SUS*HOR	1	297	2.17	0.1421
ENV*HOR	1	297	0.63	0.4282
CLO*ENV*HOR	1	297	0.81	0.3688
SUS*ENV*HOR	1	297	1.92	0.1669
CLO*SUS*ENV*HOR	1	297	5.25	0.0227

ANEXO N° 8.

Cuadro N° 30: Porcentaje de patrones de enraizamiento por tratamientos.

Tratamiento	N° ident.	Patrones de enraizamiento en estacas					% enr.	% prom./clon
		e1 %	e2 %	e3 %	e4 %	e5 %		
VS8, IBA, T, V	I	0.00	50.00	26.67	0.00	10.00	86.66	67.91
VS8, IBA, T, E	II	20.00	23.33	23.33	3.33	20.00	90.00	
VS8, IBA, B, V	III	3.33	0.00	26.67	10.00	16.67	56.66	
VS8, IBA, B, E	IV	6.67	13.33	16.67	20.00	13.33	70.00	
<b>VS8, R, T, V</b>	<b>V</b>	<b>40.00</b>	<b>16.67</b>	<b>10.00</b>	<b>26.67</b>	<b>3.33</b>	<b>96.66</b>	
VS8, R, T, E	VI	10.00	10.00	0.00	10.00	0.00	30.00	
VS8, R, B, V	VII	23.33	6.67	0.00	16.67	0.00	46.66	
VS8, R, B, E	VIII	16.67	13.33	13.33	20.00	3.33	66.66	
VS13, IBA, T, V	IX	6.67	26.67	26.67	6.67	6.67	73.33	62.91
VS13, IBA, T, E	X	6.67	13.33	16.67	3.33	3.33	43.33	
VS13, IBA, B, V	XI	6.67	30.00	6.67	0.00	6.67	50.00	
VS13, IBA, B, E	XII	6.67	33.33	6.67	23.33	0.00	70.00	
<b>VS13, R, T, V</b>	<b>XIII</b>	<b>16.67</b>	<b>66.67</b>	<b>0.00</b>	<b>10.00</b>	<b>0.00</b>	<b>93.33</b>	
VS13, R, T, E	XIV	40.00	13.33	6.67	6.67	0.00	66.66	
VS13, R, B, V	XV	3.33	60.00	3.33	0.00	0.00	66.66	
VS13, R, B, E	XVI	30.00	10.00	0.00	0.00	0.00	40.00	
U2, IBA, T, V	XVII	16.67	10.00	10.00	6.67	0.00	43.33	23.33
U2, IBA, T, E	XVIII	0.00	16.67	3.33	0.00	0.00	20.00	
U2, IBA, B, V	XIX	3.33	0.00	0.00	0.00	0.00	3.33	
U2, IBA, B, E	XX	16.67	6.67	3.33	6.67	0.00	33.33	
<b>U2, R, T, V</b>	<b>XXI</b>	<b>43.33</b>	<b>3.33</b>	<b>0.00</b>	<b>3.33</b>	<b>0.00</b>	<b>50.00</b>	
U2, R, T, E	XXII	20.00	0.00	0.00	0.00	0.00	20.00	
U2, R, B, V	XXIII	10.00	6.67	0.00	0.00	0.00	16.66	
U2, R, B, E	XXIV	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	

Nota. el % de cada patrón es en base al total de repeticiones del tratamiento (30)

## ANEXO N° 9.

### LONGITUD RADICULAR MEDIDA POR PROYECCION.

Cuadro N° 30: Longitud radicular promedio por proyección para cada tratamiento.

Tratamiento	Identificación	Long radicular (cm)
VS8, IBA, T, V	I	20.42
VS8, IBA, T, E	II	23.07
VS8, IBA, B, V	III	14.09
VS8, IBA, B, E	IV	15.10
VS8, R, T, V	V	15.85
VS8, R, T, E	VI	16.06
VS8, R, B, V	VII	15.42
VS8, R, B, E	VIII	12.23
VS13, IBA, T, V	IX	21.72
VS13, IBA, T, E	X	26.78
VS13, IBA, B, V	XI	17.27
VS13, IBA, B, E	XII	13.82
VS13, R, T, V	XIII	16.25
VS13, R, T, E	XIV	17.67
VS13, R, B, V	XV	8.00
VS13, R, B, E	XVI	13.50

ANEXO N° 10.

LONGITUD RADICULAR MEDIDA POR CURVIMETRO.

Cuadro N° 32: Longitud radicular promedio por curvímetero para cada tratamiento.

Tratamiento	Identificación	Long radicular (cm)
VS8, IBA, T, V	I	104.68
VS8, IBA, T, E	II	120.87
VS8, IBA, B, V	III	91.96
VS8, IBA, B, E	IV	109.10
VS8, R, T, V	V	72.33
VS8, R, T, E	VI	98.66
VS8, R, B, V	VII	142.00
VS8, R, B, E	VIII	61.27
VS13, IBA, T, V	IX	115.75
VS13, IBA, T, E	X	111.41
VS13, IBA, B, V	XI	105.00
VS13, IBA, B, E	XII	65.62
VS13, R, T, V	XIII	63.87
VS13, R, T, E	XIV	69.37
VS13, R, B, V	XV	30.5
VS13, R, B, E	XVI	53.00

ANEXO N° 11.

NUMERO DE RAICES GRUESAS.

Cuadro N° 33: Número de raíces gruesas promedio para cada tratamiento.

Tratamiento	Identificación	N° raíces gruesas
VS8, IBA, T, V	I	3.72
VS8, IBA, T, E	II	2.16
VS8, IBA, B, V	III	4.30
VS8, IBA, B, E	IV	3.59
VS8, R, T, V	V	1.80
VS8, R, T, E	VI	1.99
VS8, R, B, V	VII	3.69
VS8, R, B, E	VIII	1.75
VS13, IBA, T, V	IX	2.53
VS13, IBA, T, E	X	1.76
VS13, IBA, B, V	XI	1.83
VS13, IBA, B, E	XII	1.94
VS13, R, T, V	XIII	2.54
VS13, R, T, E	XIV	1.00
VS13, R, B, V	XV	1.99
VS13, R, B, E	XVI	1.99

## ANEXO N° 12.

## PESO SECO AEREO Y RADICULAR.

Cuadro N° 34: Peso seco radicular y aéreo promedio y sus respectivos desvíos standard para cada tratamiento.

Tratamientos	PSR ( gr.)		PSA (gr.)	
	Promedio	Std	Promedio	Std
VS8, IBA, T, V	0.23	0.07	0.40	0.14
VS8, IBA, T, E	0.22	0.07	0.61	0.30
VS8, IBA, B, V	0.26	0.09	0.52	0.17
VS8, IBA, B, E	0.23	0.05	0.57	0.21
VS8, R, T, V	0.19	0.07	0.44	0.12
VS8, R, T, E	0.15	0.03	0.40	0.10
VS8, R, B, V	0.17	0.05	0.32	0.19
VS8, R, B, E	0.17	0.06	0.44	0.35
VS13, IBA, T, V	0.27	0.09	0.48	0.12
VS13, IBA, T, E	0.23	0.05	0.46	0.15
VS13, IBA, B, V	0.22	0.05	0.43	0.17
VS13, IBA, B, E	0.24	0.07	0.45	0.14
VS13, R, T, V	0.23	0.06	0.41	0.13
VS13, R, T, E	0.18	0.06	0.47	0.14
VS13, R, B, V	0.26	0.06	0.40	0.12
VS13, R, B, E	0.21	0.06	0.42	0.13