

UNIVERSIDAD DE CONCEPCION
FACULTAD DE CIENCIAS FORESTALES
Departamento Silvicultura



EVALUACION DE DISTINTAS TECNICAS
DE ENRAIZAMIENTO DE ESTACAS DE
***Pinus radiata* D. Don.**

MEMORIA DE TITULO PRESENTADA
A LA FACULTAD DE CIENCIAS
FORESTALES DE LA UNIVERSIDAD
DE CONCEPCION PARA OPTAR AL
TITULO DE INGENIERO FORESTAL

GERMAN CRISTIAN PANDO JARA

CONCEPCION - CHILE
1995

UNIVERSIDAD DE CONCEPCION
FACULTAD DE CIENCIAS FORESTALES
Departamento Silvicultura

EVALUACION DE DISTINTAS TECNICAS
DE ENRAIZAMIENTO DE ESTACAS DE
Pinus radiata D. Don.



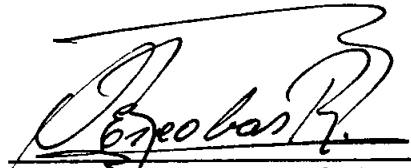
GERMAN CRISTIAN PANDO JARA

MEMORIA DE TITULO PRESENTADA
A LA FACULTAD DE CIENCIAS
FORESTALES DE LA UNIVERSIDAD
DE CONCEPCION PARA OPTAR AL
TITULO DE INGENIERO FORESTAL

CONCEPCION - CHILE
1995

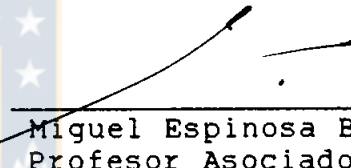
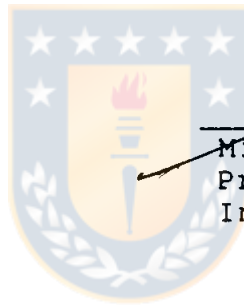
EVALUACION DE DISTINTAS TECNICAS DE ENRAIZAMIENTO DE
ESTACAS DE *Pinus radiata* D. Don.

Profesor Asesor



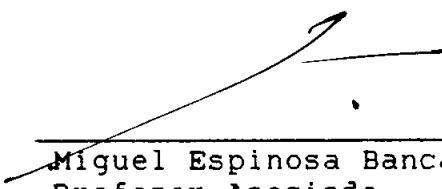
René Escobar Rodríguez
Profesor Asociado
Técnico Forestal

Profesor Asesor



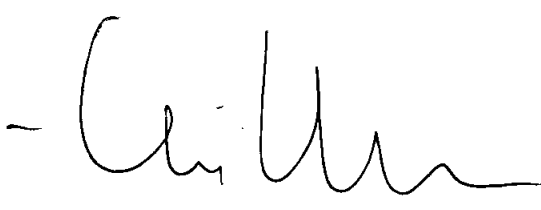
Miguel Espinosa Bancalari
Profesor Asociado
Ingeniero Forestal, Ph. D

Director Departamento
Silvicultura



Miguel Espinosa Bancalari
Profesor Asociado
Ingeniero Forestal, Ph. D

Decano Facultad de Ciencias
Forestales



Dr. Jaime Millán Herrera
Profesor Titular
Ingeniero Forestal



A MIS PADRES...

AGRADECIMIENTOS

El autor desea agradecer a todas las personas que de una u otra forma hicieron posible la realización del presente trabajo, especialmente:

- A don René Escobar Rodríguez, Docente de la Facultad de Ciencias Forestales, por su constante apoyo y orientación en la estructuración y revisión del texto, y por su dedicación en la preparación de la defensa de mi trabajo.

- A don Miguel Espinosa Bancalari, Docente de la Facultad de Ciencias Forestales, quien con su apoyo y consejos hizo posible el inicio y desarrollo del trabajo. Además, por su valiosa orientación como tutor durante todos los años que duraron mis estudios.

- A Forestal Cholguán S.A., en especial a don Eduardo Montero Silva, Jefe del Departamento de Silvicultura, por su orientación y su excelente disposición a ayudar, y a todo el personal del vivero en Canteras, ya que con su dedicación hicieron posible la realización del ensayo.

- A mis padres, por su constante apoyo e interés en mi trabajo.

- A Jacqueline Aragón y a todos mis compañeros y amigos de la Facultad de Ciencias Forestales.

INDICE GENERAL

CAPITULOS	PAGINA
I INTRODUCCION.....	1
II REVISION BIBLIOGRAFICA.....	2
2.1 Aspectos generales.....	2
2.2 Proceso de enraizamiento.....	4
2.2.1 Factores que afectan el proceso.....	4
2.2.1.1 Factores inherentes a la planta madre....	4
2.2.1.2 Factores inherentes a la estaca.....	9
2.2.1.3 Factores inherentes al medio.....	11
2.2.2 Sustancias reguladoras del crecimiento...	15
2.2.3 Métodos de aplicación de hormonas.....	19
2.2.4 Bases anatómicas del enraizamiento.....	20
2.3 Ventajas de las estacas enraizadas.....	23
2.4 Estacas enraizadas de <u>Pinus radiata</u>	30
III MATERIALES Y METODOS.....	33
3.1 Lugar del estudio.....	33
3.2 Descripción del ensayo.....	33
3.3 Diseño experimental.....	36
3.4 Sustrato.....	36
3.5 Obtención y preparación de las estacas...	37
3.6 Colocación de las estacas.....	39
3.7 Labores culturales.....	39
3.8 Variables evaluadas y mediciones.....	40

3.9	Análisis estadístico.....	41
IV	RESULTADOS Y DISCUSION.....	43
4.1	Valores promedios de variables ambientales.....	43
4.2	Resultados de variables morfológicas de las estacas.....	47
4.3	Porcentaje de enraizamiento.....	48
4.4	Volumen radicular.....	50
4.5	Porcentaje de cobertura de raíces en el corte.....	50
4.6	Número de raíces.....	51
4.7	Largo de la raíz.....	53
4.8	Largo del tallo.....	55
4.9	Diámetro de tallo.....	55
V	CONCLUSIONES.....	56
VI	RESUMEN.....	58
	SUMMARY.....	59
VII	BIBLIOGRAFIA.....	60
	ANEXOS.....	66

INDICE DE FIGURAS

FIGURA Nº		PAGINA
1	Estacas enraizando a raíz desnuda (platabanda)...	34
2	Estacas enraizando a raíz cubierta (contenedor)..	35
3	Seto o planta madre de pino radiata de dos años de edad.....	37
4	Corte perpendicular al eje longitudinal de la estaca.....	38
5	Método de medición del sistema radicular.....	42
6	Temperatura media ambiental y temperatura media del sustrato para cada método de producción.....	43
7	Humedad relativa del aire en el vivero durante los siete meses del ensayo.....	45
8	Precipitación mensual y acumulada en el vivero durante los siete meses del ensayo.....	47
9	Sistema radicular y tallo de los dos métodos de producción.....	52
10	Número de raíces producidas en relación a la concentración de hormona utilizada.....	54

INDICE DE TABLAS

TABLA NO		PAGINA
1	Nomenclatura para los distintos niveles en cada factor ensayado.....	35
2	Valores promedio para los distintos factores en estudio para cada variable evaluada, y grado de significancia.....	48



INDICE DE ANEXOS

ANEXO N ^o		PAGINA
1	Detalle de los tratamientos del ensayo.....	66
2	Diagrama de distribución en el ensayo de los tratamientos y subtratamientos.....	67
3	Temperatura mensual promedio del sustrato para cada método de producción a distintas horas del día, y temperatura media del sustrato para cada método de producción.....	68
4	Temperatura ambiental media en el vivero a diferentes horas y media promedio durante los siete meses del ensayo.....	69
5	Humedad relativa del aire durante los siete meses del ensayo.....	70
6	Precipitación mensual y acumulada en el vivero durante los siete meses del ensayo.....	71

I INTRODUCCION

La propagación vegetativa de plantas tiene como fin producir individuos genéticamente idénticos a su progenitor. Una ventaja de este sistema de propagación es la obtención de bosques más uniformes, lo que disminuye los costos del manejo silvícola y cosecha (Zobel, 1992).

Existen varios métodos de propagación vegetativa, tales como injertos, macropropagación y cultivo de tejidos. El método más utilizado es la macropropagación o propagación por estacas. Esta técnica no se encuentra en un mismo nivel de desarrollo para todas las especies, siendo las más estudiadas las del género Populus, Eucalyptus y Pinus (Shimizu, 1988). Sin embargo, en Chile, aún persisten dudas en cuanto al mejor método de producción a gran escala que permita obtener individuos con un buen sistema radicular, con un volumen adecuado y una distribución homogénea de las raíces en el perímetro de la base de la estaca. El presente estudio evalúa, en pino radiata, el resultado de dos técnicas de producción de plantas a partir de estacas; raíz desnuda y raíz cubierta y el efecto de la aplicación de diferentes concentraciones de auxina (IBA) en distintas variables morfológicas de la raíz y del tallo de la planta.

II REVISION BIBLIOGRAFICA

2.1 Aspectos generales.

Según Gronross y Von Arnold (1987), el enraizamiento de estacas o "cuttings" es una técnica que consiste en cortar la parte apical de la planta la cual es enraizada.

La propagación vegetativa es una técnica vieja de reproducción utilizada en silvicultura. Los japoneses la usaron para Criptomeria japónica antes que la genética forestal fuera comprendida; también ha sido utilizada por un largo tiempo con los álamos (Populus spp.). Cunninghamia lanceolata ha sido cultivada por medio de estacas enraizadas en China por varias centurias (Ono, 1972; Minghe, 1988; citados por Zobel, 1992).

La plantación industrial con especies forestales propagadas vegetativamente ha sido una práctica común con especies fáciles de arraigar, tales como Populus spp., Platanus spp., Salix spp., Cryptomeria japónica y Pinus radiata. Recientemente varias especies de eucalipto se han unido a este grupo, después que se han depurado algunas técnicas para producir, en escala masiva, plantas a partir de

estacas (Shimizu, 1988).

Toda (1974), citado por Arnold y Gleed (1985), indica que estacas enraizadas de Cryptomeria japónica y Chamaecyparis obusta han sido usadas para el establecimiento de plantaciones desde el siglo XV. Además, menciona que Norway spruce (Picea abies) en Europa, y especies de álamo en Italia, han sido comúnmente establecidos por medio de estacas enraizadas.

Armson et al. (1980) afirman que la propagación vegetativa de las coníferas en la silvicultura ha sido usada primeramente en una pequeña escala en estudios y programas de mejoramiento forestal.

La propagación vegetativa ha sido muy empleada en los programas de mejoramiento de árboles, principalmente en la forma de injertos. Sin embargo, durante el último tiempo la atención se ha centrado en el enraizamiento de estacas para su uso en plantaciones operacionales debido a la mayor calidad que estas presentan (Myers y Howe, 1990).

2.2 Proceso de enraizamiento.

2.2.1 Factores que afectan el proceso.

2.2.1.1 Factores inherentes a la planta madre.

a) **Edad.**

Según Libby (1973)(citado por Inglis, 1984), la edad de los ortets (árboles donantes o padres) a partir de los cuales se obtienen las estacas puede ser importante, ya que en Pinus strobus y Pinus radiata D. Don el potencial de enraizamiento declina a medida que la edad del ortet aumenta.

Según Girouard (1973), la edad de un ortet donador de estacas a enraizar, es considerado uno de los factores más importantes que afectan el enraizamiento.

Arnold y Gleed (1985) indican que los efectos de la maduración en pino radiata no son revertidos cuando es propagado vegetativamente. Por esto, la edad de la planta donante podría tener efectos significativos en el crecimiento y forma de las estacas enraizadas. Además citan a Sweet y Harris (1976), quienes encontraron diferencias significativas en crecimiento, forma y calidad de la madera

entre estacas tomadas desde ortets de diferentes edades.

El porcentaje de enraizamiento y calidad de las estacas enraizadas disminuye a medida que la edad de un clón aumenta (Libby y Conkle, 1966; Thulin y Fauldus, 1968; citados por Libby et al., 1971).

En estacas enraizadas o injertos, las tasas de crecimiento temprano de propágulos vegetativos de árboles viejos son significativamente menores que las de propágulos de árboles jóvenes o de semilla (Sweet, 1964; Fielding, 1969; Pawsey, 1971; citados por Libby et al., 1971).

Fielding (1954, 1969) y Matthews (1952), citados por Libby et al. (1971) determinaron que en estacas enraizadas de pino radiata que han sido puestos en cercos (en que su altura ha sido repetidamente restringida) enraizan más plantas con forma de árboles jóvenes, que como plantas de la misma edad cronológica de los árboles del cerco. Además, aseguran que los setos o plantas madres realmente disminuyen la declinación en el porcentaje y calidad del enraizamiento, normalmente asociado con la edad del clón. Libby et al (1971) citan a Libby y Concle (1966), quienes encuentran evidencias que estacas provenientes de ortets jóvenes enraizan más rápidamente que de viejos.

Es probable que estacas enraizadas a partir de ortets jóvenes (menores de 4 años) puedan ser usados en plantaciones futuras, y estas pueden ser más resistentes a las enfermedades (Klomp y Hong, 1985).

Según Armson et al. (1980), el éxito del enraizamiento puede ser incrementado por el uso de estacas de árboles de semilla en su estado juvenil, previo inicio de la dormancia.

Propágulos vegetativos de árboles de 20-30 años de edad pueden producir madera menos densa y con más grano en espiral que la producida por semillas del mismo genotipo (Nicholls y Brown, 1971; citados por Libby et al., 1971).

Hannah (1988) asegura que existen árboles con buena capacidad de enraizamiento y otros con mala capacidad, por lo que hay que buscar buenos fenotipos pero que a su vez enraicen bien. Además, indica que la capacidad de enraizamiento de un mismo árbol puede variar de un año a otro.

b) Condición de crecimiento.

Las condiciones de iluminación bajo las cuales la planta madre está creciendo son muy importantes. Estacas de Salix

undulata enraizan mejor cuando provienen de plantas creciendo en condiciones de día largo; estacas de Salix perioti enraizan mejor de plantas creciendo en condiciones de día corto (Moshkov y Kocherzhenko, 1939; citados por Komissarov, 1968).

Según las experiencias de Komissarov (1968), las influencias simultáneas de condiciones de luminosidad, humedad y fertilidad del suelo están reflejadas en la capacidad de enraizamiento de estacas de pinos de tres años. Clarke y Slee (1984) indican que grandes cantidades de buen material se pueden producir como vástagos sobre plantas madres decapitadas, mantenidas a altas tasas de crecimiento por riegos intensivos y fertilizaciones en un jardín clonal.

c) Condiciones fisiológicas.

Gran cantidad de carbohidratos, o sea un tallo firme y rígido (no confundir con lignificación y engrosamiento), favorecen el enraizamiento (Hartmann y Kester, 1992).

El vigor de la planta madre es decisivo en la capacidad de enraizamiento de las estacas (Myers y Howe, 1990).

Según Hartmann y Kester (1992), la nutrición de la planta

madre puede ejercer una fuerte influencia en el desarrollo de raíces y tallo de las estacas. Este efecto, que puede estar relacionado con un estado fisiológico determinado del tejido, puede asociarse con ciertas relaciones carbohidratos/nitrógeno.

Factores internos, tales como el contenido de auxina, de cofactores de enraizamiento y las reservas de carbohidratos, pueden influir en la iniciación de raíces de las estacas (Hartmann y Kester, 1992).

La selección del material adecuado para estacas, en cuanto al contenido de carbohidratos, puede determinarse por la rigidez del tallo. Aquellos pobres en carbohidratos son suaves y flexibles, en tanto que los ricos en carbohidratos son macizos y rígidos y se quiebran antes de doblarse. Sin embargo, esta condición conveniente puede confundirse con la rigidez debido a la maduración de los tejidos, causada por el engrosamiento y la lignificación de las paredes celulares. Al igual que en el caso de los carbohidratos, un contenido moderado de nitrógeno en los tejidos es mejor para lograr un enraizamiento óptimo. El contenido muy bajo de nitrógeno conduce a una reducción del vigor, mientras que su abundancia produce un vigor excesivo (Hartmann y Kester, 1992).

2.2.1.2 Factores inherentes a la estaca.

a) Ubicación en la planta madre.

Para muchas especies de árboles forestales, las estacas tomadas de la parte baja de la copa enraizan tan bien o mejor que las recolectadas de la porción alta de la copa (Brix, 1973). Las estacas de las porciones inferiores de la copa de los ortet sobreviven y enraizan mejor que las de la porción superior (Girouard, 1973).

b) Tamaño.

Brix (1973) indica que para Pseudotsuga menziesii las estacas de un diámetro superior a 2 mm y de 6 a 12 cm de largo son consideradas como las más adecuadas para el enraizamiento.

Dibley y Faldus (1989) aconsejan utilizar estacas de 7 a 10 cm de largo y con un diámetro mínimo de 3 mm para lograr un óptimo enraizamiento en pino radiata.

Faldus y Dibley (1991) menciona que el largo de las estacas más recomendable para lograr un buen enraizamiento es de 10 a 15 cm.

En general, la longitud de la estaca influye

considerablemente en la altura y vigor de la plantula producida. En un ensayo que probó estacas de Picea spp. con longitud de 4 a 8, 8 a 15 y 15 a 25 cm, se concluyó que las de longitud media son las que mejor enraizan. A menudo, se usan estacas de 5 a 8 cm de largo (Girouard, 1973).

Bolton y Ransfield (1988) aconsejan usar estacas de 10 cm para enraizarlas a fines de septiembre para pino radiata.

Para obtener un mejor resultado en el proceso de enraizamiento de pino radiata, las estacas deben poseer un largo de 10 a 15 cm y un diámetro mínimo de 6 mm (Menzies et al., 1988).

c) Epoca de recolección.

El mejor período de recolección de las estacas es durante el período de receso vegetativo, durante el invierno (Brix, 1973). Estacas recolectadas en diferentes meses del año responden en distinta forma a la aplicación de ácido Indolbutírico (Kiang et al., 1973).

Las estacas deben ser recolectadas a fines de otoño y durante el invierno, mientras las plantas se encuentran en su período de dormancia (Menzies et al., 1988).

d) Corte.

En pino radiata, el corte debe ser lo más perpendicular posible al eje de la estaca; cuidando además de no provocar daños en la corteza ni en ninguna parte de la sección donde se efectúa el corte, con el fin de lograr la formación de un sistema radicular lo más homogéneo posible en todo el perímetro del corte (Escobar, 1994 *).

Según Hartmann y Kester (1992), en algunas especies de latifoliadas un corte oblicuo es el más adecuado ya que esto aumenta la superficie del corte y por lo tanto el área donde se forman las raíces.

2.2.1.3 Factores inherentes al medio.**a) Humedad.**

Una neblina es esencial durante la primera semana después de ser instalados, y calor en el sustrato es usualmente necesario para promover el desarrollo de callos y raíces (Menzies y Arnott, 1992).

Según Hartmann y Kester (1992), es necesario un aporte de agua (vapor-niebla) para mantener la hoja húmeda y así disminuir la presión de agua de los espacios intercelulares.

* : (Escobar, René. Profesor de "Viveros y Repoblación". Facultad de Ciencias Forestales de la Universidad de Concepción. 1994. Comunicación personal)

Para el buen enraizamiento de estacas de Pseudotsuga menziesii es necesario mantener un alto nivel de humedad en el medio de enraizamiento y una buena circulación del aire (Myers y Howe, 1990).

Brix (1973) menciona que para Pseudotsuga menziesii es importante el uso de un plástico que cubra las estacas de manera que se mantenga una alta humedad ambiental, favorable para un buen enraizamiento.

Desde 1960 experimentos de enraizamiento de Pinus sylvestris se han concentrado en el uso de una neblina intermitente en invernadero, aconsejándose como método más exitoso una duración de la neblina de cinco segundos cada diez minutos, cuando existe una temperatura ambiental de 20 °C; y de cinco segundos cada tres minutos, cuando la temperatura es de 30 °C (Boeijink y Van Broekhuizen, 1973).

b) Temperatura.

Hartmann y Kester (1992) indican que para promover el enraizamiento se debe mantener la base de la estaca a mayor temperatura que la parte aérea (21-27 °C).

Myers y Howe (1990), señalan que para el enraizamiento de

pino oregón es beneficioso mantener una temperatura adecuada tanto en el aire como en el medio de enraizamiento.

Experimentos realizados por Brix (1973) han demostrado que en invernadero, es recomendable mantener una alta temperatura en el sustrato para lograr un buen enraizamiento en Pseudotsuga menziesii.

Para lograr un buen enraizamiento se aconseja un buen control ambiental, en especial de la temperatura, ya que al estar muy alta se hace necesario mantener una neblina más frecuente (Boeijink y Van Broekhuizen, 1973).

Para la reproducción de Picea spp. bajo condiciones de invernadero donde la humedad relativa puede variar entre 65 y 95%, es necesario mantener una temperatura del aire entre 10 y 22 °C , y de 13 °C en el medio de enraizamiento. Hace falta mucha información adicional para especificar las temperaturas recomendadas para varias especies de árboles (Roulund, 1971 citado por Girouard, 1973).

c) Luz solar.

Es necesario mantener las estacas con una buena iluminación, con el fin de acumular más carbohidratos que

los empleados en la respiración (Hartmann y Kester, 1992).

Phillion et al. (1983) encontraron en Pinus sylvestris que al aumentar la intensidad lumínica, el enraizamiento se acelera y las pérdidas por algunos hongos se minimizan.

Los estudios con sombra que se han realizado para pino oregón no son concluyentes, pero hay indicios que la sombra es perjudicial para un buen desarrollo de las raíces. El efecto del fotoperiodo no ha sido probado (Brix, 1973).

d) Medio de enraizamiento.

Según Macdonald (1986), uno de los factores más importantes para un exitoso enraizamiento de las estacas es el medio de enraizamiento. La influencia del medio es considerable ya que de él depende la retención de agua y las propiedades de aireación. El porcentaje de enraizamiento y la calidad de las raíces puede, en muchas ocasiones, ser influenciado por el medio de enraizamiento.

El mejor medio de enraizamiento para Pinus sylvestris es aquel bien drenado, con una alta proporción de arena. Sin embargo, experimentos de enraizamiento en medios de arena pura han demostrado que sólo se producen callos y no raíces (Boeijink y Van Broekhuizen, 1973).

Harmann y Kester (1992) mencionan que al mantener una temperatura y humedad estable, un buen drenaje y eliminar el material descompuesto del medio de enraizamiento se logra un ambiente más adecuado para un mejor enraizamiento.

Los medios de enraizamiento más comunes son arena, turba, perlita y vermiculita (Zufa, 1969 citado por Kiang et al., 1973).

En la reproducción de Picea spp, la mezcla ideal para usar como medio de enraizamiento consiste en dos porciones de arena y una de turba (Farrar y Grace, 1940, 1942; Doran, 1952; citados por Girouard, 1973).

Las estacas de pino radiata que crecen en tubos pueden desarrollar un sistema radicular más fibroso mediante el uso de un medio de enraizamiento con una alta proporción de materia orgánica (Eldridge y Owen, 1988).

2.2.2 Sustancias reguladoras del crecimiento.

Hartmann y Kester (1992) indican que estas sustancias son compuestos orgánicos que en pequeña cantidad promueven, inhiben o modifican cualquier proceso fisiológico en las plantas.

Una de las primeras sustancias reguladoras del crecimiento, usadas para estimular la producción de raíces, fue el ácido Indolacético (IAA). Este compuesto, en primeras pruebas, dió buenos resultados en la producción de raíces de algunas plantas. Cuando los trabajos fueron progresando se observó que una sustancia semejante -el ácido Indolbutírico (IBA)- también era útil para arraigar esquejes de una gran variedad de plantas (Mitchell y Marth, 1957).

Según Macdonald (1986), las cuatro mayores ventajas que se obtienen a través del uso de hormonas enraizantes son:

- incremento del porcentaje de enraizamiento
- rapidez en el inicio del enraizamiento
- incremento en el número y calidad de las raíces
- mayor uniformidad en el enraizamiento

Brix (1973) obtuvo buenos resultados al enraizar estacas de pino oregón con aplicaciones de IBA a una concentración de 8 000 y 10 000 ppm. Hong (1973), enraizó estacas de varias especies de pinos con concentraciones de IBA de 10 000 ppm. En contraste, Kiang et al. (1973), logró enraizamientos del 60% con una concentración de 1 000 ppm y de 50% con una concentración de 4 000 ppm en Pinus strobus.

El ácido indolbutírico es un compuesto estable y es uno de los más ampliamente usados por los viveristas. Es efectivo para un amplio rango de plantas, y es el compuesto más común encontrado en preparaciones comerciales (Macdonald, 1986).

Ross (1975) asegura que en pino oregon, el ácido Indolbutírico no influye en el porcentaje de enraizamiento, pero si en la velocidad del mismo.

Según Weaver (1976), entre los reguladores del crecimiento que comúnmente se utilizan, uno de los mejores estimuladores del enraizamiento es la auxina IBA. Tiene una actividad auxínica débil y los sistemas de enzimas destructores de auxinas, la destruyen en forma relativamente lenta. Un producto químico persistente resulta muy eficaz como estimulante de las raíces. Debido a que el IBA se desplaza muy poco, se retiene cerca del sitio de aplicación. Además, señala que otra excelente auxina, utilizada con frecuencia en la promoción de raíces, es el ácido naftalenacético (NAA). Sin embargo, este compuesto es más tóxico que el IBA y deben evitarse las concentraciones excesivas por el peligro de provocar daños a las plantas. Weaver determinó que el IBA y el NAA resultan más efectivos en la inducción del enraizamiento que el IAA. El IAA es muy

inestable en las plantas y se descompone rápidamente en soluciones no esterilizadas aun cuando permanece activo en soluciones estériles durante varios meses. Los rayos fuertes del sol pueden destruir en 15 minutos una solución de 10 ppm de IAA. Finalmente, asegura que el 2,4-D promueve el enraizamiento en ciertas especies; no obstante, puesto que es potente y se desplaza con facilidad, por lo común tiende a inhibir el desarrollo de los brotes y a originar daños en ellos, sobre todo cuando se utiliza excesivo producto químico.

El ácido indol-3-acético (IAA) natural fomenta la formación de raíces adventicias, al igual que el ácido indolacético sintético. El ácido indolbutírico (IBA) y naftalenacético (NAA), ambos sintéticos, son según Hartmann y Kester (1992) mejores que el IAA.

Según Jesko (1992), el efecto estimulador del IAA en la elongación radicular puede ser eliminado por la acción inhibitoria del etileno. Este último es probablemente sintetizado en la raíz y su síntesis estimulada por auxinas. Además de las raíces laterales, la formación y crecimiento de raíces aéreas es también estimulado por auxinas.

2.2.3 Métodos de aplicación de las hormonas.

a) En polvo.

En este método la base de la estaca se trata con una hormona de crecimiento mezclada con un portador (un polvo fino inerte que puede ser arcilla o talco). Pueden surgir dificultades para obtener resultados uniformes mediante este método, debido a la variabilidad en la cantidad de material que se adhiere a las estacas (Weaver, 1976).

Hartmann y Kester (1992) indican que a la estaca se le debe hacer un corte fresco antes de tratarla. Es un método de fácil uso pero de resultados no uniformes.

b) Remojo en solución diluida.

En este método las estacas se sumergen en concentraciones de 20 a 200 ppm (Hartmann y Kester, 1992).

Las concentraciones utilizadas varían desde 20 ppm en las especies de enraizamiento fácil, hasta 200 ppm en las de enraizamiento más difícil. Las estacas (solamente una pulgada basal) se remojan en la solución durante 24 horas en un lugar sombreado y a la temperatura ambiente, colocándolas inmediatamente en el medio de enraizamiento (Weaver, 1976).

c) Inmersión rápida.

Las estacas se sumergen en la solución durante cinco segundos en concentraciones de 500 a 10 000 ppm. Es más efectivo que los otros dos métodos (Hartmann y Kester, 1992).

Según Macdonald (1986), las concentraciones óptimas para la aplicación de hormonas con el método de inmersión rápida son de 250 a 10 000 ppm.

Weaver (1976) indica que en este método los extremos basales de las estacas se sumergen aproximadamente durante cinco segundos en una solución concentrada (500 a 10 000 ppm) del producto químico en alcohol. Luego, las estacas se colocan inmediatamente en el medio de enraizamiento. Este método tiene la ventaja de requerir menos equipo en el remojo que la técnica de remojo prolongado. La cantidad de auxinas aplicadas por unidad de superficie de la base de la estaca es constante y depende menos de las condiciones externas que en el caso de los otros dos métodos.

2.2.4 Bases anatómicas de la formación de raíces en las estacas.

Hartmann y Kester (1992) aseguran que la propagación por

estacas es posible porque una célula vegetativa viviente, individual, tiene toda la información necesaria para regenerar una planta completa, similar a la planta de donde procedió. Además, indican que en plantas leñosas las raíces adventicias comúnmente se desarrollan del floema secundario joven, también de radios vasculares, cambium o médula, pero, en general, desde cerca y hacia afuera del cilindro central del tejido vascular.

Duhamel du Monceau en 1978 explicó la formación de raíces adventicias en los tallos con base en el movimiento de la savia hacia abajo. Amplió este concepto, el fisiólogo alemán Sachs, postuló en 1882 la existencia de una sustancia específica formadora de raíces manufacturada en las hojas, que se movía hacia abajo, a la base del tallo, en donde promovía la formación de raíces. En 1925 van der Lek demostró que en estacas de plantas como sauces, álamo, grosella y vid, las yemas de brote vigoroso estimulan el desarrollo de las raíces justamente abajo de ellas. Se supuso que en las yemas en desarrollo se formaban unas sustancias de tipo hormonal que eran transportadas en el floema a la base de las estacas, en donde estimulaban la formación de raíces (Hartmann y Kester, 1992).

En las plantas perennes leñosas, donde se encuentran

presentes una o más capas de floema y xilema secundario, las raíces adventicias de las estacas de tallos se originan generalmente en el tejido de floema secundario joven, si bien esas raíces proceden también de otros tejidos, como son el cambium, los radios vasculares o la médula (Weaver, 1976).

Cuando una estaca se coloca en condiciones ambientales favorables para el enraizamiento, de ordinario se desarrolla cierta cantidad de callo en su extremo basal. El callo es una masa irregular de células de parénquima en varios estados de lignificación. Con frecuencia las primeras raíces aparecen a través del callo, conduciendo a la creencia de que la formación de callo es esencial para el enraizamiento. En la mayoría de las plantas, la formación de callo y de raíces son independientes entre sí y cuando ocurren simultáneamente es debido a su dependencia de condiciones internas y ambientales similares. Sin embargo, en algunas especies aparentemente la formación de callo es precursora de la formación de raíces adventicias. Por ejemplo, en Pinus radiata, Sedum y Hedera helix las raíces adventicias se originan en el tejido de callo que se formó en la base de la estaca a enraizar (Hartmann y Kester, 1992).

Las evidencias indican que, en Pinus strobus la mayoría de las estacas comienzan a enraizar después de la décimo sexta semana de permanecer en el medio de enraizamiento (Kiang et al., 1973).

2.3 Ventajas de las estacas enraizadas.

Wright (1964) afirma que el enraizamiento de estacas es el único procedimiento de multiplicación vegetativa cuyo costo puede competir con el de la multiplicación por semillas.

Según Haines et al. (1992) el costo de enraizamiento de estacas va a depender directamente de su capacidad de enraizamiento.

Shimizu (1988) menciona que desde el punto de vista económico se debe considerar que las especies no sólo varían en su capacidad para arraigar a partir de estacas, sino que también existen grandes diferencias clonales dentro de una misma especie. Muchas veces los individuos de mayor rendimiento no pueden ser propagados en forma eficiente. El costo de las plantas producidas de estacas también varía ampliamente y en todo caso es mucho mayor que el costo de la planta de semilla.

El costo de producción de estacas enraizadas disminuye considerablemente al recolectarlas desde bancos de setos y no desde el campo (Menziés et al., 1991).

La producción de estacas enraizadas en platabandas es el método más económico. El más alto costo de producción de estacas enraizadas está dado por la operación de recolección y colocación de las estacas en la platabanda. El alto costo de producción sólo se justifica si se producen plantas con un alto valor genético y que no son fácilmente obtenidas por otro método (Summers, 1988).

El costo del enraizamiento de estacas comienza a ser menor que el de producción de plantas de semilla en la medida que el valor de las semillas supere cierto punto que debe ser determinado para cada especie y sistema de enraizamiento utilizado (Dibley y Faldus, 1989).

El uso de tubos no se aconseja para la producción a gran escala de pino radiata debido a su alto costo. En 1972 los tubos galvanizados fueron descartados en Canberra y la producción a raíz desnuda se mejoró agregando arena y materia orgánica a las platabandas. En Australia, en 1986, el costo de producción de 1 000 estacas enraizadas alcanzó de 220 a 399 dólares, comparados con los 66 a 71 dólares de

las plantas de semilla (Eldridge y Owen, 1988).

El uso de la propagación vegetativa para acelerar la producción e incrementar la ganancia genética ha sido el evento más importante por treinta años en el campo del mejoramiento de árboles forestales (Chaperon, 1991).

El principal beneficio de las estacas enraizadas se logra en plantaciones realizadas en lugares fértiles, de baja altitud y con control de malezas (Gleed y Arnold, 1988).

Las estacas permiten incrementar las ganancias genéticas de los programas de producción de plantas (Cameron et al. 1987; Cameron, 1987; citados por Whiteman et al., 1990).

La principal razón para usar la propagación vegetativa en especies forestales es la posibilidad de obtener una ganancia genética superior (Lindgren, 1977).

Shelbourne (1987) plantea que la propagación vegetativa debería usarse como una manera de lograr el total de las ganancias genéticas potenciales de un programa de mejoramiento.

La propagación vegetativa de pino radiata mejorado, usando

estacas enraizadas, ofrece una excelente alternativa a la silvicultura clonal usando cultivo de tejidos (Reilly y Washer 1977; Menzies et al. 1991; y Tombleso y Carson 1991; citados por Carson y Burdon, 1991).

Mónaco et al. (1980), reportan las ventajas de las estacas enraizadas en la propagación de Alnus rubra debido a la dificultad para encontrar semillas de calidad de dicha especie.

Borough (1991) indica que datos de numerosos ensayos muestran, claramente, la ganancia potencial que se puede lograr con el uso de estacas enraizadas de edad fisiológica de tres a cuatro años. El crecimiento en altura de las estacas puede, en algunos casos, ser menor durante los primeros años que las plantas de semilla, pero a los cuatro o cinco años su altura es generalmente mayor. El crecimiento en diámetro puede ser significativamente menor, pero es compensado por el menor espesor de su corteza.

Spencer (1987) sostiene que al momento de la cosecha en plantaciones de estacas enraizadas se logra un considerable porcentaje mayor de madera aserrable y para chapas que en una plantación tradicional. Estas ganancias se deben a una mayor calidad de los árboles (forma) y no a que posean un

volumen superior a lo normal.

Según Arnold y Gledd (1985), se han publicado numerosas comparaciones del crecimiento de árboles originados de estacas y semilla, pero los resultados no han sido consistentes. Crecimiento en área basal y altura de estacas a los 14 años son muy similares al proyectado para el crecimiento de plantas de semilla en sitios comparables. Además, mencionan que en un ensayo reportado por Shelbourne y Thulin (1974), el volumen principal de árboles de estacas originados de ortets de seis años de edad es de 89,5 dm³, comparados con 62,2 dm³ para árboles originados de semilla, ambos a seis años de ser plantados.

Arnold y Gledd (1985) citan a Fielding (1970), quien encuentra tasas de crecimiento similares para estacas y árboles provenientes de semilla, con estacas tomadas de ortets de edades entre 4 y 7 años.

Menzies et al. (1991) y Slee y Clarke (1991) indican que las estacas enraizadas presentan amplias ventajas sobre las plantas provenientes de semilla desde el punto de vista de la calidad de los árboles producidos.

Struve y McKeand (1990) indican que las estacas enraizadas

son menos eficientes en la absorción de nutrientes que las plantas de semilla. Además, mencionan que las estacas tienen menos ramas laterales. Struve et al. (1984) indicaron que las estacas poseían un potencial y un comportamiento muy bueno en comparación a plantas de semilla de cuarenta años.

Sweet y Wells (1974), citados por West (1984), reportan que las estacas tienen una menor tasa de crecimiento relativo que los árboles de semilla, y que la tasa de crecimiento de las estacas declina a medida que aumenta su edad fisiológica. Shelbourne y Thulin (1974), citados por West (1984), indican que las estacas enraizadas tienen un menor crecimiento potencial que los árboles de semilla. West (1984) también cita a Menzies y Chavasse (1982) quienes reportan la misma conclusión para sitios de baja calidad.

Arnold y Gledd (1985) indican que la forma de los árboles, especialmente la inserción de las ramas, es más favorable en estacas que en árboles de semilla. También mencionan que las estacas enraizadas tienen una corteza significativamente más fina. Además, citan a Fielding (1970) quién, basado en estudio de plantaciones de entre 4 y 27 años de edad, reporta que las estacas enraizadas poseen definitivamente menor conicidad que los árboles de

semilla en la parte basal del fuste.

Estudios que comparan forma, ramas y otras características morfológicas entre estacas y árboles provenientes de semilla, indican que las estacas tienen ventaja por tener menos y más pequeñas ramas, y menor conicidad (Fielding, 1970; Pawsey, 1971; Tufour y Libby, 1973; Tufour, 1974; citados por West, 1984).

Menzies et al. (1991) indican que el diámetro de las estacas enraizadas después de seis años es similar al de plantas de semilla. Además, mencionan que las estacas enraizadas generalmente no tienen las copas espesas de las plantas de semilla y muestran una fuerte tendencia a producir una sola flecha terminal. Ellas poseen copas más permeables para resistir el daño por vientos y pueden incrementar la resistencia a las enfermedades.

Nicholls et al. (1977) encontraron grandes diferencias en las características de la madera (grano en espiral, densidad máxima, densidad mínima, etc.) de estacas enraizadas y de plantas de semilla.

Krinard y Randall (1979) mencionan que con el uso de estacas se pueden simplificar las operaciones en vivero.

2.4 Estacas enraizadas de Pinus radiata.

Las primeras producciones de estacas enraizadas de Pinus radiata en Australia fueron realizadas en Canberra en 1937 y 1938. Las estacas usadas eran tallos lignificados de 15 centímetros de longitud y fueron recolectadas desde árboles seleccionados de plantaciones de seis años de edad (Eldridge y Owen, 1988).

Arnold y Gledd (1985) mencionan que el uso de estacas enraizadas para el establecimiento de plantaciones de pino radiata fue estudiado primero por Jacobs en 1939.

En Norte América, muchos de los procedimientos para enraizar estacas de coníferas han sido desarrollados en programas para propagación de árboles para huertos semilleros u otros propósitos (Armson et al., 1980).

En Nueva Zelanda, experiencias con crecimiento de pino radiata a partir de estacas enraizadas datan de al menos cincuenta años atrás (Field, 1934; citado por Klomp y Hong, 1985).

Por muchos años ha sido posible producir estacas enraizadas de pino radiata. Fueron reportadas estacas enraizadas de

esta especie en el siglo XIX y Jacobs los produce en un número considerable en los años 30. Sin embargo, hasta 1983 estacas enraizadas sólo han sido usadas para ensayos y demostraciones limitadas, y para el establecimiento de huertos semilleros y bancos de clones (Clarke y Slee, 1984).

En Nueva Zelandia la producción a gran escala se inició en 1983. El instituto de investigación forestal de Nueva Zelandia y la forestal Tasmania Ltd. produjeron de una vez 300.000 estacas enraizadas (Clarke y Slee, 1984). Arnold y Gledé (1985), informan que 750.000 estacas enraizadas de pino radiata fueron producidos en viveros forestales de Tasmania en 1984.

Como las técnicas de propagación vegetativa han sido fuertemente desarrolladas, el establecimiento de plantaciones con estacas enraizadas producidas en masa a bajo costo, se ha convertido en algo económicamente factible (Campinhos et al. 1983 citados por Klomp y Hong, 1985).

Estudios desarrollados por Clarke y Slee, (1984); Arnold y Gledé, (1985); Eldridge y Owen, (1986), citados por Spencer, (1987) muestran que la propagación masiva por

estacas es una alternativa viable.

La producción de estacas enraizadas de pino radiata en Australia alcanzó a 500.000 en 1986 y a 6 millones en 1988 (Eldridge y Owen, 1988).

Según Arnold (1990), la propagación de estacas juveniles a partir de plantas madre en viveros de pino radiata, proporciona un efectivo recurso para la multiplicación vegetativa de semillas escasas de calidad genética superior.

Zobel (1992) asegura que se han logrado muchos progresos en el uso de estacas enraizadas de pino radiata, y que un gran número de programas operacionales existen, o pronto se llevarán a cabo con este método.

III MATERIALES Y METODOS

3.1 Lugar del estudio.

El ensayo se instaló el ocho de septiembre de 1994 en el vivero de Forestal Cholguán S.A., ubicado en el fundo "Canteras" (37° 25' latitud sur y 72° 05' longitud oeste) a 18 kilómetros de Tucapel, VIII Región.

3.2 Descripción del estudio.

El estudio consistió en evaluar el enraizamiento de estacas de Pinus radiata utilizando dos métodos de producción: raíz desnuda (Figura 1) y raíz cubierta (Figura 2). En cada método de producción de plantas, se aplicó distintas concentraciones de ácido Indolbutírico (IBA) (Anexo 1):

- 0 ppm (testigo)
- 4 000 ppm
- 6 000 ppm
- 8 000 ppm

Para el enraizamiento en contenedor se utilizó un tubete de plástico liso de doce centímetros de largo y con un volumen de noventa y ocho centímetros cúbicos.

Las diferentes soluciones se prepararon diluyendo la cantidad de hormona necesaria para obtener la concentración deseada en alcohol y luego en agua destilada.



FIGURA 1. Estacas enraizando a raíz desnuda (platabanda).

La nomenclatura utilizada para designar los distintos factores y sus niveles se describen en la Tabla 1.

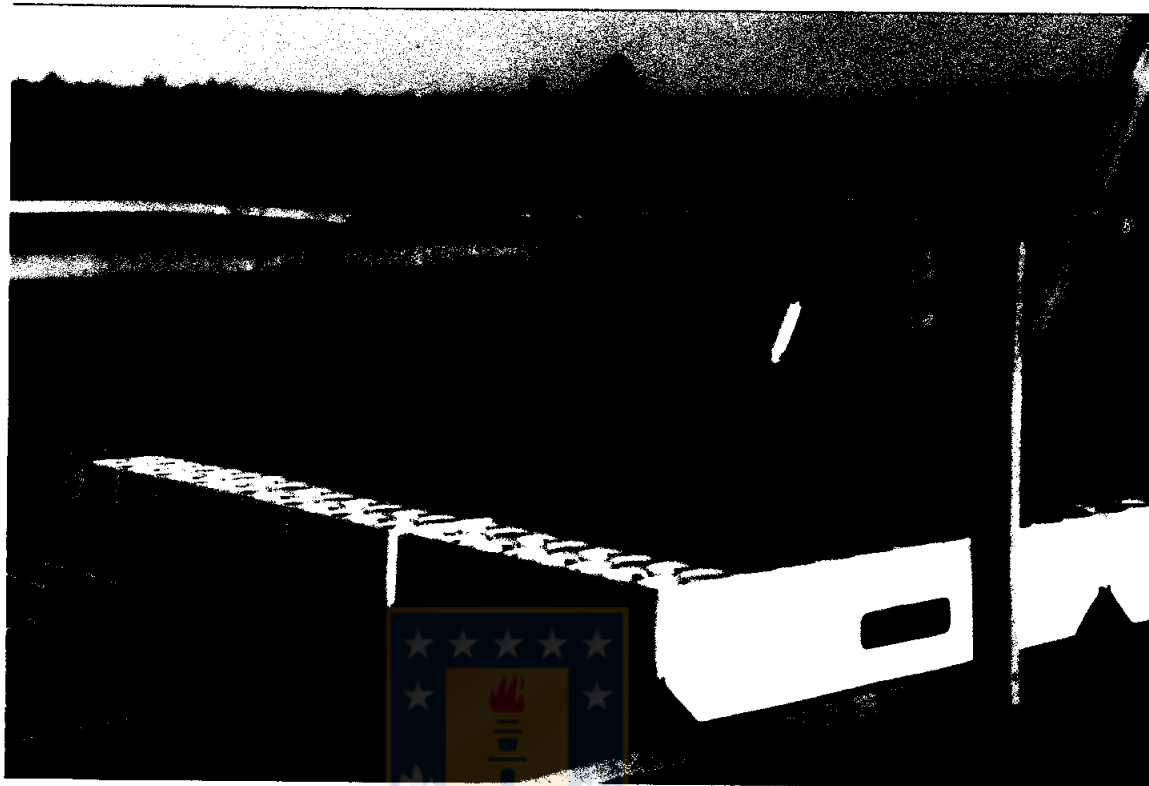


FIGURA 2. Estacas enraizando a raíz cubierta (contenedor).

TABLA 1. NOMENCLATURA PARA LOS DISTINTOS NIVELES EN CADA FACTOR ENSAYADO.

-----		-----
Método de producción		Código
-----		-----
raíz desnuda		A1
raíz cubierta		A2
-----		-----
Concentración de auxina (IBA)		Código
-----		-----
0	ppm	b1
4 000	ppm	b2
6 000	ppm	b3
8 000	ppm	b4
-----		-----

3.3 Diseño experimental.

El ensayo se instaló utilizando un diseño de parcela dividida con tres repeticiones. Los métodos de producción se asignaron a las parcelas mayores. Para la producción a raíz desnuda se utilizó un metro de platabanda y para la producción a raíz cubierta tres bandejas con tubetes plásticos de 12 cm. Las unidades mayores se dividieron en cuatro subparcelas para la aplicación de las distintas concentraciones de IBA. En cada subparcela se utilizaron 15 estacas; 60 por método de producción; 120 para todos los tratamientos y 360 para todo el estudio.

Para cada método de producción la asignación de las subparcelas se realizó al azar (Anexo 2).

3.4 Sustrato.

El sustrato utilizado para ambos métodos de producción consistió en una mezcla de cómpost de corteza de pino y turba, en una proporción de 4:1 (80% de cómpost y 20% de turba). Para hacer esta mezcla, el cómpost se pasó por un tamiz de dos milímetros de diámetro y la turba se disgregó hasta que las partículas no superaran los cinco milímetros de diámetro.

3.5 Obtención y preparación de las estacas.

Las estacas se extrajeron desde un banco de setos de dos años, ubicado en el mismo vivero (Figura 3).



FIGURA 3. Seto o planta madre de pino radiata de dos años de edad.

Las estacas se obtuvieron de un mismo clón, elegido al azar de entre los cinco mejores del plan de mejoramiento genético de la empresa Forestal Cholguán; las estacas, de 4 a 5 mm de diámetro, se cortaron a 10 cm de largo cuidando

que el corte fuera lo más perpendicular posible al eje de la estaca (Figura 4).

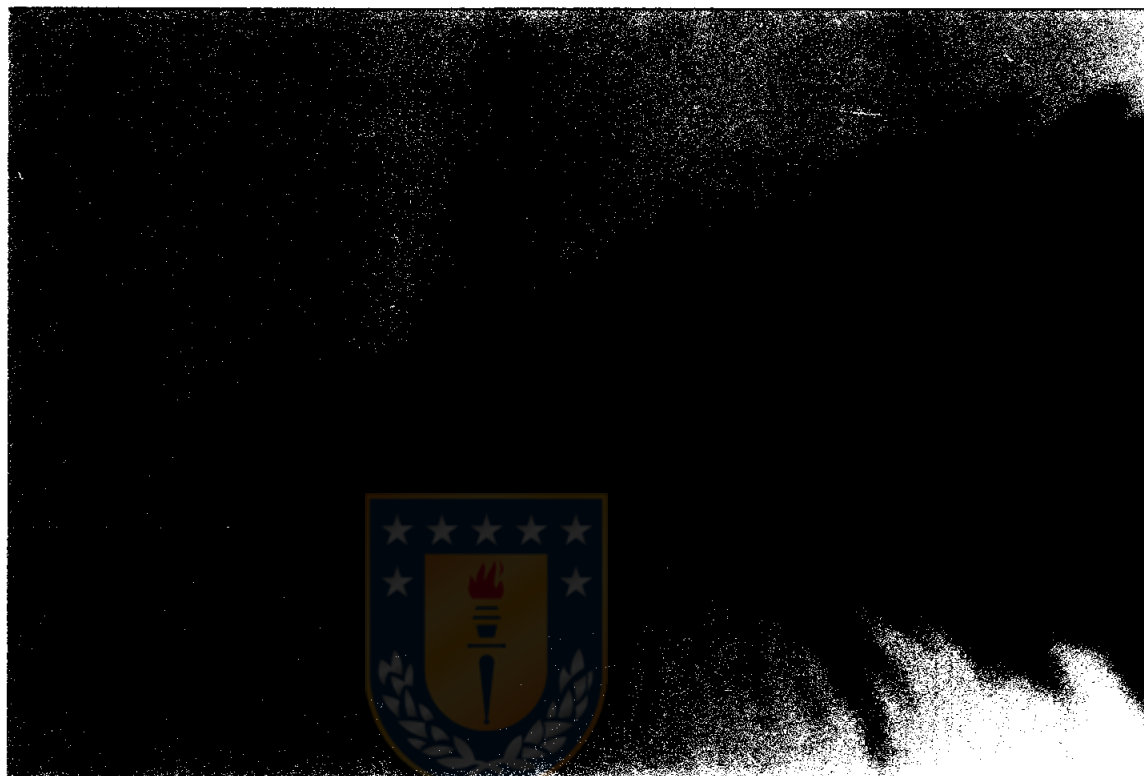


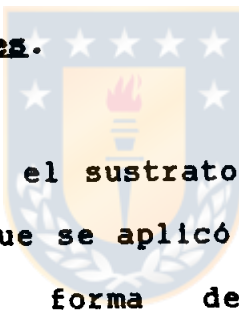
FIGURA 4. Corte perpendicular al eje longitudinal de la estaca.

Inmediatamente después de colectadas las estacas se les aplicó el tratamiento con ácido Indolbutírico, excepto al testigo, que sólo fue tratado con agua destilada. La aplicación de la hormona se hizo mediante el método de inmersión rápida, manteniendo sumergida la base de la estaca en la solución por un minuto.

3.6 Colocación de las estacas en el medio de enraizamiento.

La base de las estacas se enterró en el medio de enraizamiento a una profundidad de cuatro centímetros teniendo cuidado de que las acículas basales permanecieran hacia arriba, sin eliminarlas. En la producción a raíz desnuda las estacas se colocaron en la platabanda, a una distancia de 5 x 5 cm, la misma existente entre los contenedores.

3.7 Labores culturales.



Al inicio del estudio el sustrato se fertilizó con 4 g de P2O5 por estaca, el que se aplicó localizado en la base de la estaca, a la forma de superfosfato triple. Posteriormente, cada 15 días, se realizaron aplicaciones foliares de Bayfolan (5 cm³ por litro de agua), y una aplicación al voleo de 20 g por metro cuadrado de Urea y Nitrato calcáreo, durante la primera semana de marzo. Además, se hizo aplicaciones de Captan cada 15 días, (25 g por cada 10 litros de agua) para prevenir eventuales ataques de hongos.

El riego se aplicó dos veces al día, mañana y tarde, con un rociador conectado a una manguera de jardín. El control de

malezas se hizo en forma manual.

Las estacas se protejieron en la noche con malla raschel al 50 %, durante el primer mes.

La temperatura de los sustratos se controló diariamente a una profundidad de cuatro centímetros, tres veces al día, a las 7:30, 13:30 y 17:30 hrs respectivamente (Anexo 3). Además, se recopiló la temperatura ambiental, humedad relativa del aire y precipitación desde la estación meteorológica de Forestal Cholguán, en Canteras (Figuras 7, 8 y 9).

Contiguo al ensayo, se instalaron tres estacas para observar el momento, aproximado, en que comenzó el enraizamiento para cada método de producción.

3.8 Variables evaluadas y mediciones.

Al término del estudio, a cada estaca se le evaluó las siguientes variables con la precisión que se indica :

- porcentaje de enraizamiento (%)
- volumen radicular (0.1 cm³)
- número de raíces (censo)

- largo máximo de raíces (0.5 cm)
- cobertura del enraizamiento en el
perímetro del corte (%)
- largo del tallo (0.5 cm)
- diámetro de tallo (0.5 mm)

Primero se determinó el número de estacas enraizadas por tratamiento; luego, se midió el largo de la raíz principal (la de mayor tamaño), el número de raíces que emergieron del área de corte, el largo y diámetro del tallo de la estaca. La medición del volumen radicular se realizó mediante desplazamiento de agua para lo cual se utilizó un recipiente que se encontraba sobre una balanza de precisión (0.01 g), en la cual se registraban las diferencias de peso y, por lo tanto, de volumen (Figura 5). El porcentaje de cobertura del enraizamiento, que se define como el porcentaje del perímetro del corte del cual emergieron raíces, se obtuvo por apreciación visual, previa confección de una plantilla circular con divisiones cada diez grados en su perímetro.

3.9 Análisis estadístico.

Los datos de cada variable se analizaron de acuerdo con el diseño estadístico utilizado. Se llevó a cabo un análisis

de varianza para determinar los efectos principales de los dos factores en estudio, y el efecto de la interacción entre ambos.

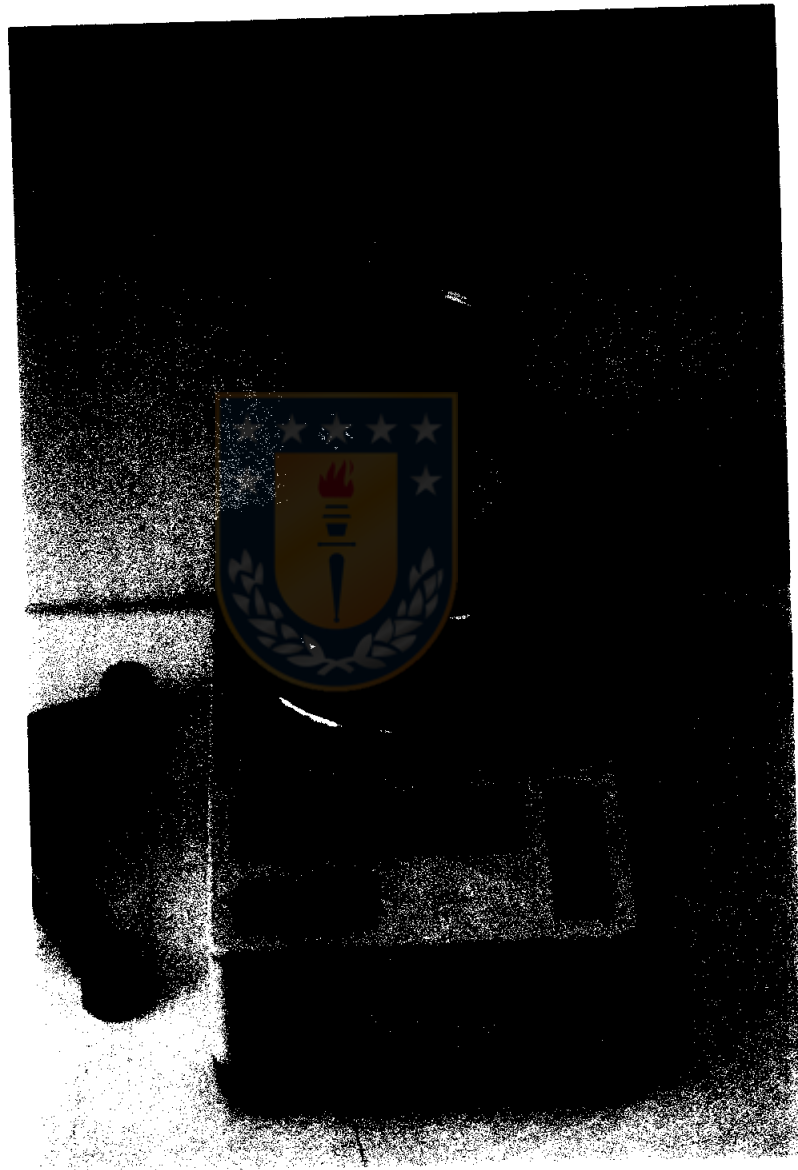


FIGURA 5. Método de medición del volumen radicular.

IV RESULTADOS Y DISCUSION

4.1 Valores promedios de variables ambientales.

La temperatura media ambiental y temperatura promedio mensual del sustrato, durante los siete meses del ensayo, se presenta en la Figura 6.

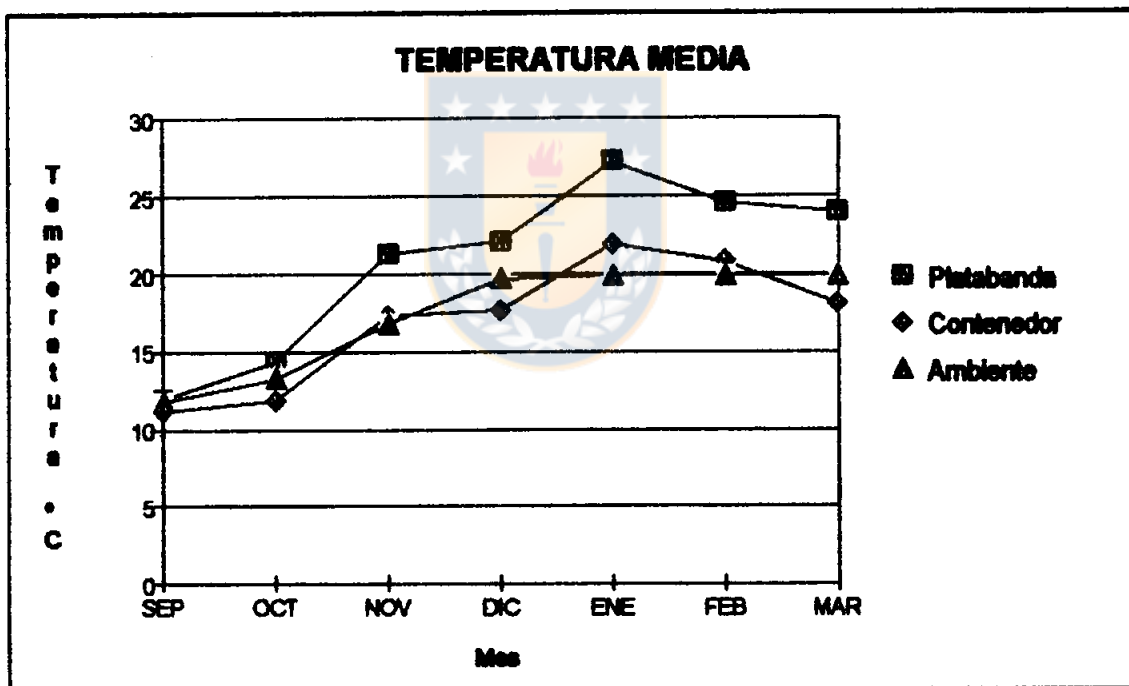


FIGURA 6. Temperatura media ambiental y temperatura media del sustrato para cada método de producción.

En la Figura 6 se observa que la temperatura de ambos sustratos tiene la misma tendencia durante todo el periodo.

En la platabanda la temperatura es aproximadamente cinco grados mayor que la de los contenedores. Esta diferencia se puede deber a que la platabanda no está tan expuesta al efecto del viento como los contenedores que están sobre el nivel del suelo (Figura 2). Además, el material con que están contruidos los receptáculos actua como aislante y el color blanco evita la absorción del calor.

El enraizamiento para ambos métodos de producción se inició a fines de noviembre y comienzos de diciembre, cuando la temperatura media del sustrato oscilaba entre los 18 - 22 QC respectivamente (Figura 6 Y Anexo 3). La temperatura señalada es levemente menor a la estimada por Hartmann y Kester (1992), y Girouard (1973), quienes sostienen que la temperatura ideal para el inicio del enraizamiento oscila entre 21 y 27 QC. La temperatura bajo la cual se inicia el enraizamiento es muy importante para determinar el momento más adecuado para comenzar el proceso de producción de plantas, evitando de esta manera largos periodos de estadia de las estacas en el medio de enraizamiento sin que este ocurra.

La temperatura ambiental siguió una tendencia similar a la del sustrato llegando a un nivel máximo, cercano a 20 QC, en el mes de diciembre y se mantiene estable hasta el mes

de marzo (Anexo 4).

La temperatura de los sustratos llegó a valores mayores debido a que éste, por su color oscuro y por encontrarse aislado del efecto directo del viento, absorbe calor y mantiene temperaturas altas por más tiempo que el ambiente.

En la Figura 7 y Anexo 5 se muestra la humedad relativa promedio en los distintos meses que duró el ensayo. En ella se observa que el mayor valor se logra en octubre con un 78.6%. El nivel mínimo fue de 58% en los meses de enero y febrero.

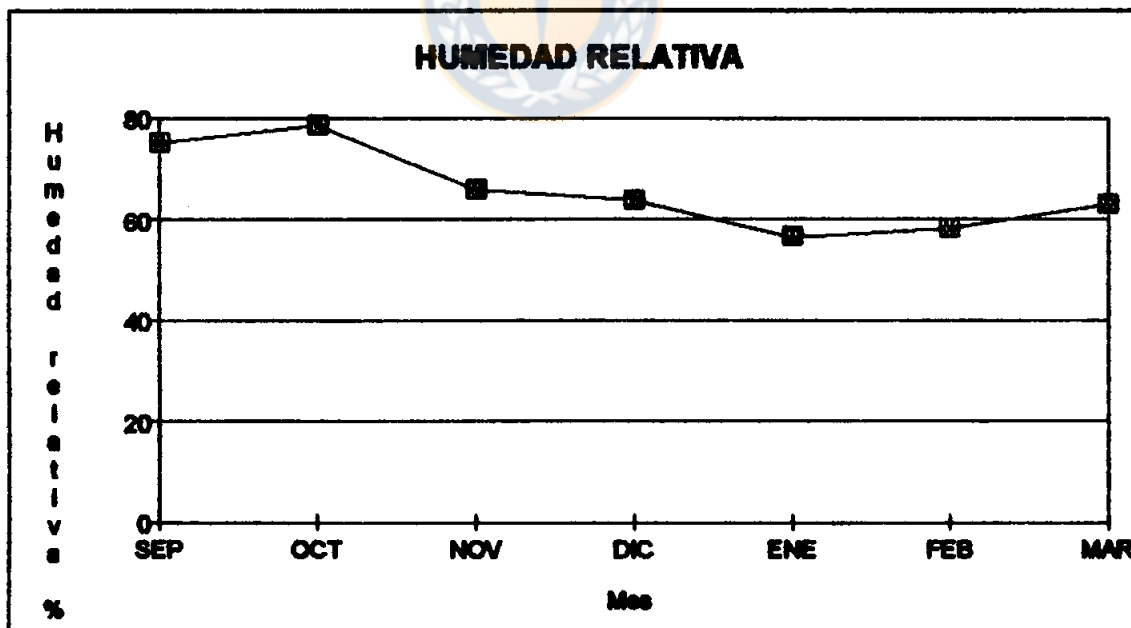


FIGURA 7. Humedad relativa del aire en el vivero durante los siete meses del ensayo.

La temperatura ambiental subió a partir de diciembre (Figura 6) lo que influyó directamente en la baja humedad relativa que existió desde ese mes (Figura 7). Sin embargo, estas condiciones no influyeron en el desarrollo de raíces en las estacas, por lo que se puede deducir que para pino radiata estas condiciones son lo suficientemente adecuadas para lograr un enraizamiento exitoso y probablemente no sean necesarias más medidas de protección que las que se describen en este estudio.

La precipitación, en el lugar y tiempo que duró el ensayo, se presenta en la Figura 8. En ella se puede observar que la precipitación acumulada durante los siete meses fue de 383.0 mm. El mayor valor se logró en septiembre con 149.0 mm y el más bajo en enero y febrero con 3.5 y 2.0 mm respectivamente.

Las condiciones de humedad ambiental, pluviosidad y temperaturas medias obligaron a la aplicación artificial de agua a través de riego, el que se realizó durante todo el período de ensayo dos veces al día, para disminuir la evapotranspiración y evitar un estrés con efectos dañinos para las estacas.

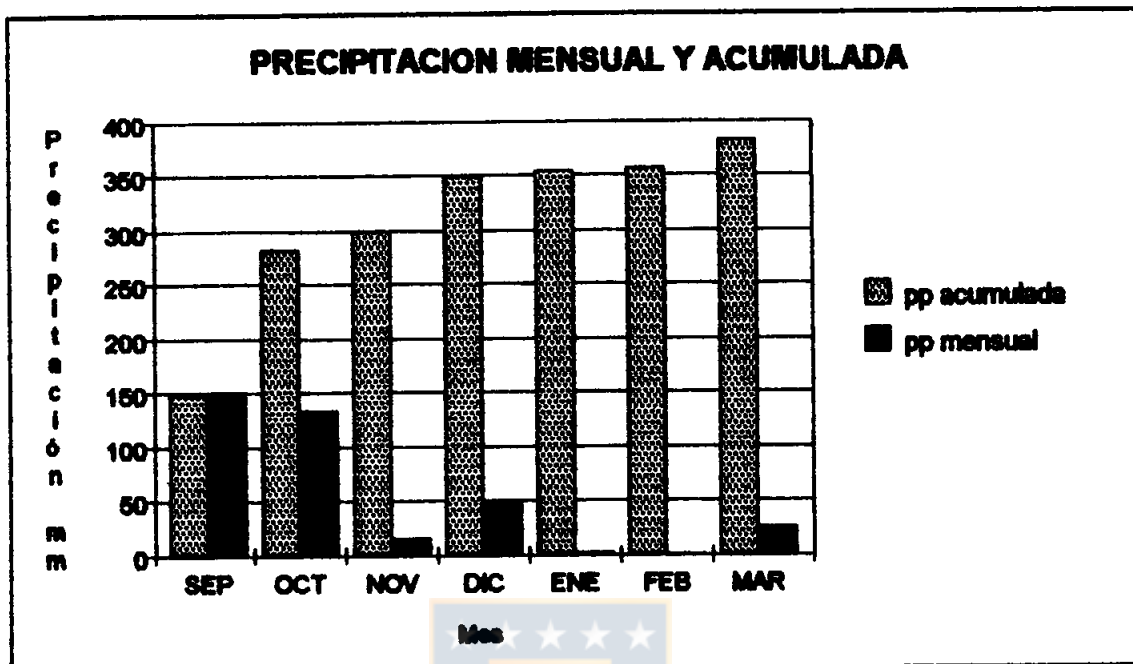


FIGURA 8. Precipitación mensual y acumulada en el vivero durante los siete meses del ensayo.

4.2 Resultados de variables morfológicas de las estacas.

En la Tabla 2 se presentan los valores promedios para las diferentes variables morfológicas evaluadas a las estacas enraizadas. Además, se indica el grado de significancia obtenido en el análisis de varianza de cada factor e interacción.

TABLA 2. VALORES PROMEDIO PARA LOS DISTINTOS FACTORES EN ESTUDIO PARA CADA VARIABLE EVALUADA Y GRADO DE SIGNIFICANCIA.

Factor	Variables						
	Estacas enraizadas (%)	Volumen raíces cm ³	Cober. raíces (%)	Número raíces N	Largo raíces cm	Largo tallo cm	Diám. tallo mm
Factor A							
Raíz Des.	92.4	2.20	80.6	7.75	24.5	27.4	5.0
Raíz Cub.	96.4	2.41	84.3	11.22	13.3	19.7	4.8
Factor B							
0 ppm	96.7	2.55	86.8	9.24	18.3	24.3	5.0
4 000 ppm	94.4	2.51	81.0	9.17	20.3	24.9	5.0
6 000 ppm	91.1	2.40	83.3	10.32	19.0	23.6	4.9
8 000 ppm	93.3	2.34	89.0	11.21	19.4	22.6	4.9
Varianza							
A	N.S.	N.S.	N.S.	*	*	*	N.S.
B	N.S.	N.S.	N.S.	N.S.	N.S.	N.S.	N.S.
A x B	N.S.	N.S.	N.S.	N.S.	N.S.	N.S.	N.S.


N.S. = No existe diferencias significativas.

* = Existe diferencias significativas.

4.3 Porcentaje de enraizamiento.

Los resultados de la Tabla 2 muestran que el método de producción, raíz desnuda o raíz cubierta, no afecta el porcentaje de estacas enraizadas. La producción a raíz cubierta logró un 4.0% más de estacas enraizadas que a raíz desnuda, diferencia que no es significativa. Se logró un

porcentaje de enraizamiento promedio de un 94.4%, el cual es muy bueno, comparado con los resultados reportados por Menzies et al. (1988) en el vivero del Instituto de Investigación Forestal (FRI), donde se logró un enraizamiento promedio cercano al 80%. Clarke y Slee (1984) mencionan enraizamientos cercanos al 100% en estacas puestas bajo una cubierta de plástico, con sistema de riego mediante una neblina intermitente, y con control de temperatura en el sustrato, medidas que encarecen y dificultan notablemente la producción de plantas a nivel industrial.



Los resultados de la tabla 2 indican además que la concentración de IBA no tiene efecto en esta variable, resultado que coincide con estudios realizados por Ross (1975) en pino oregón, y Kiang et al. (1973) en Pinus strobus. El análisis de varianza indica también que no hay interacción entre ambos factores.

Durante el proceso de medición se observó que en las estacas producidas sin aplicación de IBA (testigo) existía un gran número de raíces blancas (nuevas). Por el contrario, en las estacas producidas con aplicación de IBA se observó que sus raíces eran oscuras (viejas). Lo anterior podría estar indicando que la velocidad de

enraizamiento se acelera con la aplicación de IBA. Estudios específicos al respecto pueden ser interesantes para determinar en forma más precisa este efecto.

4.4 Volumen radicular.

Los resultados de la Tabla 2 indican que el método de producción no influye en el volumen del sistema radicular de las estacas. La producción a raíz cubierta presenta un volumen radicular promedio de 2.41 cm³ cifra que es un 9.5% mayor que la producción a raíz desnuda, que logró un volumen promedio de 2.20 cm³. La concentración de IBA tampoco afecta al volumen radicular y no hay interacción de ambos factores en la variable señalada.

Es importante tener en consideración que debido a los objetivos del estudio no se hizo manejo de raíces a las estacas, por ello, en los contenedores se produjo efecto canastillo en el sistema radicular (Figura 9). A nivel operacional se debe realizar manejo de raíces, lo que afectará al volumen del sistema radicular.

4.5 Porcentaje de cobertura de raíces en el corte.

Respecto del porcentaje de cobertura de raíces en el área

de corte de la estaca, los resultados de la Tabla 2 indican que tanto el método de producción como la aplicación de auxina no tienen efecto sobre esta variable ni se produce interacción entre ambos factores en estudio.

4.6 Número de raíces.

Respecto al número de raíces, (Tabla 2) las estacas producidas a raíz cubierta logran un 45% más de raíces que las estacas enraizadas a raíz desnuda, las cuales sólo presentan un promedio de 7.75 raíces por estaca. El análisis de varianza muestra que las diferencias señaladas son significativas para esta variable. Una explicación probable de este resultado es que las estacas producidas en contenedores estuvieron sometidas permanentemente a poda radicular por efecto del viento que circula bajo los receptáculos. Como lo han demostrado numerosos estudios (Hartmann y Kester, 1992; Menzies y Arnott, 1992), ello induce la generación de un sistema radicular más fibroso. Por el contrario, las estacas a raíz desnuda no fueron sometidas a ningún manejo radicular, por lo que sus raíces se desarrollaron sin limitaciones en longitud generando un sistema radicular con menos raíces, pero de mayor diámetro y longitud (Figura 9).

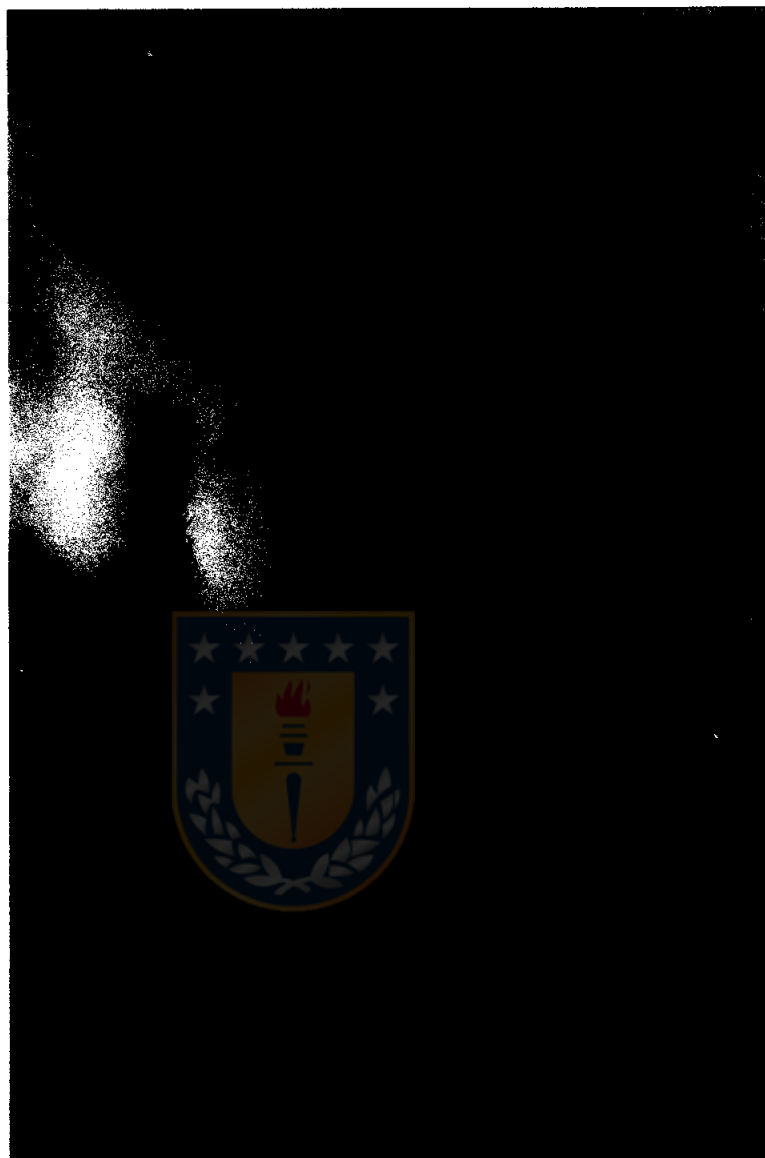


FIGURA 9. Sistema radicular y tallo de estaca en contenedor y en platabanda.

En enraizamiento de estacas a raíz desnuda a escala operacional, es conveniente realizar manejo radicular

(podas de raíces) con el fin de generar un sistema radicular más fibroso. En el caso de enraizamiento a raíz cubierta sería conveniente realizar poda química; por ejemplo con sales de cobre, para evitar el efecto canastillo en el sistema radicular (Escobar, 1995 *).

En la Figura 10 se muestra el efecto de las distintas concentraciones de hormona utilizadas, sobre el número de raíces producidas en las estacas. Hasta una concentración de 4 000 ppm no se presentan diferencias con el testigo (0 ppm). A partir de las 6 000 ppm se produce un leve aumento en el número de raíces, aproximadamente un 12% entre las 4 000 y las 6 000 ppm y un 8% entre los 6 000 y los 8 000 ppm; sin embargo, las diferencias señaladas no son significativas. El análisis de varianza muestra que no existe interacción entre ambos factores para esta variable.

4.7 Largo de la raíz.

Los resultados de la Tabla 2 muestran que el promedio del largo máximo de raíces de las estacas producidas en platabanda es de 24.5 cm y de las estacas producidas en contenedor 13.3 cm. Por lo tanto, como era de esperar, la producción a raíz desnuda logra raíces un 84.2% más largas que a raíz cubierta. Las diferencias señaladas son

* : (Escobar, René. Profesor de "Viveros y Repoblación". Facultad de Ciencias Forestales de la Universidad de Concepción. 1995. Comunicación personal)

significativas. La diferencia en la longitud de las raíces, entre ambos métodos de producción, se debe a que las plantas enraizadas a raíz desnuda disponen de un mayor espacio para su crecimiento, a diferencia de las estacas enraizadas en contenedor, en la que sus raíces son podadas permanentemente por el paso del aire bajo los tubos. Los resultados señalan además que la concentración de hormonas no afecta esta variable y que no existe interacción entre ambos factores.

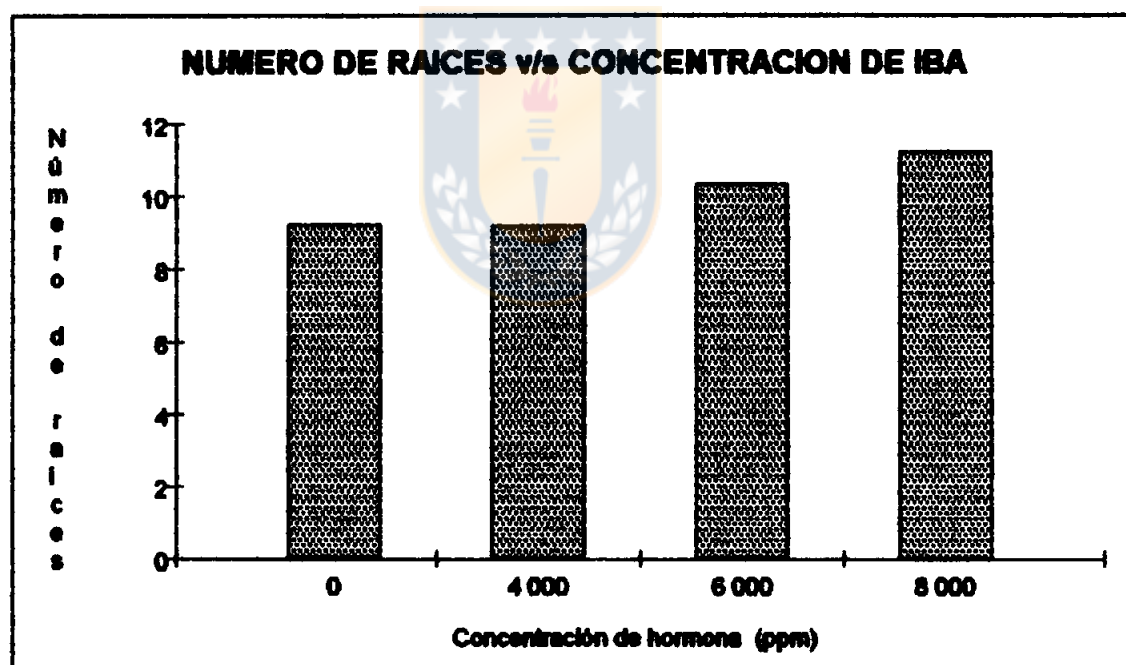


FIGURA 10. Número de raíces producidas en relación a la concentración de hormona utilizada.

4.8 Largo del tallo.

Como se desprende de la Tabla 2, el método de producción a raíz desnuda logra, en promedio, una longitud de tallo de 27.4 cm, un 40% mayor que a raíz cubierta. La explicación más probable de este hecho es que las raíces de las plantas producidas a raíz desnuda poseen un mayor volumen de suelo para desarrollarse y explorar, lo que significa una mayor disponibilidad de agua y nutrientes que se traduce en un mayor crecimiento que el que experimentan las plantas que crecen a raíz cubierta (Figura 9).

Los valores promedios y análisis de varianza (Tabla 2) muestran que la longitud final del tallo de las estacas enraizadas no es afectado por la aplicación de hormonas.

4.9 Diámetro de tallo.

El diámetro de tallo no es afectado por el método de producción ni por la aplicación de hormonas. El diámetro de tallo es consecuencia de la densidad de cultivo (Daniel, 1982; Macdonald, 1986; Hartmann y Kester, 1992). En este caso, en ambos métodos de producción, la densidad fue la misma.

V CONCLUSIONES

1.- El enraizamiento de estacas de Pinus radiata se inició entre 18 - 22 °C de temperatura en el sustrato.

2.- El método de producción de estacas no afectó al porcentaje de enraizamiento, volumen radicular, porcentaje de cobertura de raíces en el corte ni al diámetro de tallo de las estacas.

3.- Las estacas producidas a raíz desnuda logran un sistema radicular menos fibroso, con un menor número de raíces, pero de mayor longitud que las producidas en contenedor.

4.- El enraizado a raíz desnuda produce plantas con mayor largo de tallo que a raíz cubierta.

5.- La aplicación de ácido Indolbutírico entre 0 - 8000 ppm no afecta el enraizamiento de estacas de pino radiata ni sus principales atributos morfológicos.

6.- No hay interacción entre el método de producción y la aplicación de ácido Indolbutírico en el enraizamiento de estacas de pino radiata ni en los atributos morfológicos de las mismas.



VI RESUMEN

Utilizando un diseño de parcela dividida, se estudió el efecto del método de producción (raíz desnuda y raíz cubierta) y la concentración de hormona enraizante (IBA) en el porcentaje de enraizamiento de estacas de Pinus radiata y en los atributos morfológicos tales como volumen radicular, cobertura del enraizamiento, número de raíces, longitud de raíz, longitud y diámetro de tallo de la estaca. Los resultados, después de siete meses, muestran que se logró en promedio un 94% de estacas enraizadas, el método de producción a raíz desnuda logra plantas con tallo y raíces de mayor longitud y que la producción a raíz cubierta induce la formación de un mayor número de raíces. El uso de hormonas enraizantes entre 4 000 y 8 000 ppm no favorece el enraizamiento. No hubo interacción entre el método de producción y concentración de auxina aplicada para ninguna de las variables señaladas.

SUMMARY

Using a split plot design, the production method effect was studied (bare root and covered root), and the concentration of rooted hormones (I.B.A.) in the percentage of rooted-cuttings of *Pinus radiata* and the morphologic benefits such as radicular volume, rooted coverage, roots' number, roots' length, length and diameter of cuttings stem. Results, after seven months, show that was achieved in average a 94% of rooted-cuttings, the production method of bare root gets plants with stem and roots of bigger length, and the production of covered root induces to the formation of a higher number of roots. The use of rooted hormones from 4 000 and 8 000 ppm doesn't benefit rooting. There was no interaction between production method and the applied auxin concentration for neither of the signal variables.

VII BIBLIOGRAFIA

- 1.- ARMSON , R., M. FUNG y W. BUNTING. 1980. Operational rooting of black Spruce Cuttings. Journal of Forestry. 78(6): 341 -344.
- 2.- ARNOLD, R. 1990. Control pollinated radiata pine seed - A comparison of seedling and cuttings options for large-scale deployment. New Zealand Forestry. 35(3): 12-16.
- 3.- ARNOLD, R. y J. GLEED. 1985. Raising and managing radiata pine cuttings for production forests. Australian Forestry. 48(3): 199-206.
- 4.- BOEIJINK, D. y J. VAN BROEKHUIZEN. 1973. Rooting of cuttings of *Pinus Sylvestris* under mist. New Zealand Journal of Forestry Science. 4(2): 127-132.
- 5.- BOLTON, P. y K. RANSFIELD. 1988. Cuttings propagation of radiata pine. Forest Research Institute. Bulletin NQ 135: 132-134.
- 6.- BOROUGH, C. 1991. Clone multiplication for the RCA clonal project. Proceedings FRI/NZ FP. Forests Ltd. Clonal Forestry Workshop Rotorua New Zealand. FRI Bulletin NQ 160.
- 7.- BRIX, H. 1973. Rooting of cuttings from mature Douglas fir. New Zealand Journal of Forestry Science. 4(2): 133-139.

- 8.- CARSON, M. y R. BURDON. 1991. Relative advantages of clonal forestry and vegetative multiplication. Proceedings FRI/NZ FP. Forests Ltd. Clonal Forestry Workshop Rotorua New Zealand. FRI Bulletin NQ 160.
- 9.- CLARKE, F. y M. SLEE. 1984. Prospects for forestry with radiata pine. Australian Forestry. 47(4): 266-271.
- 10.- CHAPERON, H. 1991. Open-pollinated seed orchards: Tested families or tested clones for tomorrow's forests ?. Proceedings FRI/NZ FP. Forests Ltd. Clonal Forestry Workshop Rotorua New Zealand. FRI Bulletin NQ 160.
- 11.- DANIEL, T., J. HELMS. y F. BAKER. 1986. Principios de silvicultura. Mc.Graw-Hill, New York. 500 p.
- 12.- DIBLEY, M. y T. FALDUS. 1989. Production and costs of juvenile radiata Pine cuttings. FRI Bulletin NQ 156.
- 13.- ELDRIDGE, K. y J. OWEN. 1988. Production methods for cuttings in Australia. Forest Research Institute. Bulletin NQ 135: 99-108.
- 14.- FALDUS, T. y M. DIBLEY. 1991. Potential propagation methods for clonal forestry. Proceedings FRI/NZ FP. Forests Lda. Clonal Forestry Workshop Rotorua New Zealand. FRI Bulletin NQ 160.
- 15.- GIROUARD, R. 1973. Propagation of Spruce by stem cuttings. New Zealand Journal of Forestry Science. 4(2): 140-149.
- 16.- GLEED, J. y R. ARNOLD. 1988. Tasman forestry's field cuttings operation: some costs and benefits. Forest Research Institute. Bulletin NQ 135: 97-98.

- 17.- GRONROSS, R. y S. VON ARNOLD. 1987. Iniciación de raíces de cuttings de hipocotilo de *Pinus contorta* in vitro. *Physiology Plantarum* 69: 227-236.
- 18.- HAINNESS, R., T. COPLEY., J. HUTH. y M. NESTER. 1992. Shoot selection and the rooting and field performance of Tropical Pine cuttings. *Forest Science*. 38(1): 95-101.
- 19.- HANNAH, P. 1988. Vegetative propagation of yellow Birch from stem cuttings. *Tree Planters' Notes*. Spring 1988: 37-41.
- 20.- HARTMANN, T. y D. KESTER. 1992. Propagación de plantas. Mexico D.F., Compañía Editorial Continental S. A., 757 p.
- 21.- HONG, S. 1973. Rooting of brachyblast cuttings of pines in Korea. *New Zealand Journal of Forestry Science*. 4(2): 150-152.
- 22.- INGLIS, E. 1984. The effects of some growth substances on the promotion and rooting of interfascicular shoots in *Pinus caribea morelet*. *Commonwealth Forestry review*. 63(2): 115-120.
- 23.- JESKO, T. 1992. Physiology of the plant root system. J. Kolek; V. Kozinka Editors. Institute of Botany, Slovak Academy of Sciences Bratislava, Czechoslovakia. Kluwer Academic Publishers.
- 24.- KIANG, I., O. ROGERS y R. PIKE. 1973. Vegetative propagation of eastern white pine by cuttings. *New Zealand Journal of Forestry Science*. 4(2): 153-160.
- 25.- KLOMP, B. y S. HONG. 1985. Performance of *Pinus radiata* seedlings and cuttings to age 15 years. *New Zealand Journal of Forestry Science*. 15(3): 281-297.

- 26.- KOMISSAROV, D. 1968. Biological basis for the propagation of woody plants by cuttings. Translated by Z. Shapiro. Edited by M. Kohn, B. Sc. Jerusalem.
- 27.- KRINARD, R. y W. RANDALL. 1979. Soaking aids survival of long, unrooted cottonwood cuttings. Tree Planters' Notes. Summer 1979: 16-18.
- 28.- LIBBY, J., A. BROWN y J. FIELDING. 1971. Effects of hedging radiata pine on production, rooting, and early growth of cuttings. New Zealand Journal of Forest Science. 2(2): 263-283.
- 29.- LINDGREN, D. 1977. Possible advantages and risks connected with vegetative propagation for reforestation. Lectures from a symposium in Uppsala, Sweden, 16-17 Feb.
- 30.- MACDONALD, B. 1986. Plant Propagation. Timber Press. Portland, Oregon. 668 p.
- 31.- MENZIES, M. y J. ARNOTT. 1992. Comparisons of different plant production for forest trees. Kluwer Academic Publisher. Transplant Production Systems. 21-44.
- 32.- MENZIES, M., T. FALDUS, y M. DIBLEY. 1988. Vegetative propagation of juvenile radiata pine. Forest Research Institute. Bulletin NQ 135.
- 33.- MENZIES, M., B. KLOMP. y D. HOLDEN. 1991. Optimal physiological age of propagules for use in clonal forestry. Proceedings FRI/NZ FP. Forests Ltd. Clonal Forestry Workshop Rotorua New Zealand. FRI Bulletin NQ 160.
- 34.- MENZIES, M., B. KLOMP. y D. HOLDEN. 1991. Promising future for radiata Pine cuttings. What's New in Forest Research. NQ 212.

- 35.- MITCHELL, J. y P. MARTH. 1957. Fito-hormonas y otros reguladores de crecimiento. Aguilar, S.A. De Ediciones - Madrid.
- 36.- MONACO, P., T. CHING, y K. CHING. 1980. Rooting of *Alnus rubra* cuttings. Tree Planters' Notes. Summer 1980: 22-24.
- 37.- MYERS, J. y G. HOWE. 1990. Vegetative propagation of rocky mountain Douglas-fir by stem cuttings. Tree Planters' Notes. Summer 1990: 3-6.
- 38.- NICHOLLS, J., L. PEDERICK, y A. BROWN. 1977. A summary of the ortet-ramet relationship in wood characteristics of *Pinus radiata*. Appita. 30(6): 496-504.
- 39.- PHILLION, B., J. WITT, y W. BUNTING. 1983. Propagation of juvenile Scots Pine cuttings under a 24-hour photoperiod. Tree Planters' Notes. Fall 1983: 39-42.
- 40.- ROSS, S. 1975. Production, propagation, and shoot elongation of cuttings from sheared 1-Year-Old Douglas-fir seedlings. Forest Science. 21: 298-300.
- 41.- SHELBORNE, C. 1987. The role of cuttings in the genetic improvement of forest trees. Forest Research Institute. Rotorua, New Zealand.
- 42.- SHIMIZU, J. 1988. La propagación vegetativa en el mejoramiento genético de plantaciones industriales. Ciencia e Investigación Forestal. 2(4): 27-33.
- 43.- SLEE, M. y F. CLARKE. 1991. Stages of development of *Pinus radiata* and implications for clonal forestry. Proceedings FRI/NZ FP. Forests Lda. Clonal Forestry Workshop Rotorua New Zealand. FRI Bulletin N° 160.

- 44.- SPENCER, D. 1987. Increased yields of high quality veneer and sawn timber from cuttings of radiata pine. *Australian Forestry*. 50(2): 112-117.
- 45.- STRUVE, D., T. TALBERT. y S. MCKEAND. 1984. Growth of rooted cuttings and seedlings in a 40-year-old plantation of eastern white pine. *Canadian Journal of Forests Research*. 14(3): 462-464.
- 46.- STRUVE, D. y S. MCKEAND. 1990. Growth and development of eastern white pine rooted cuttings compared with seedlings through 8 years of age. *Canadian Journal of Forests Research*. 20: 365-368.
- 47.- SUMMERS, A. 1988. Growing radiata pine from cuttings at Owhata nursery, Rotorua. *Forest Research Institute. Bulletin NQ 135*: 135-138.
- 48.- WEAVER, R. 1976. *Reguladores del crecimiento de las plantas en la agricultura*. Ed. Trillas, Mexico. 143-164.
- 49.- WEST, G. 1984. Establishment requirements of *Pinus radiata* cuttings and seedlings compared. *New Zealand Journal of Forestry Science*. 14(1): 41-52.
- 50.- WHITEMAN, P., J. CAMERON y R. APPLETON. 1990. Growth and form of radiata pine cuttings and seedlings on an ex-pasture site in Gippsland Victoria. *Australian Forestry*. 53(2): 99-103.
- 51.- WRIGHT, J. 1964. *Mejoramiento genético de los árboles forestales*. FAO. Roma. 389-397.
- 52.- ZOBEL, B. 1992. Vegetative propagation in production forestry. *Journal of Forestry*. April 1992: 29-33.

ANEXO 1.

Detalle de los tratamientos (A) y subtratamientos (b) del ensayo.

A1 = producción a raíz desnuda (platabanda)

A2 = producción a raíz cubierta (contenedor)

b1 = sin aplicación de auxina (testigo)

b2 = aplicación de auxina a una concentración de 4 000 ppm

b3 = aplicación de auxina a una concentración de 6 000 ppm

b4 = aplicación de auxina a una concentración de 8 000 ppm

Identificación (T) de las diferentes combinaciones :

T1 = A1-b1

T2 = A1-b2

T3 = A1-b3

T4 = A1-b4

T5 = A2-b1

T6 = A2-b2

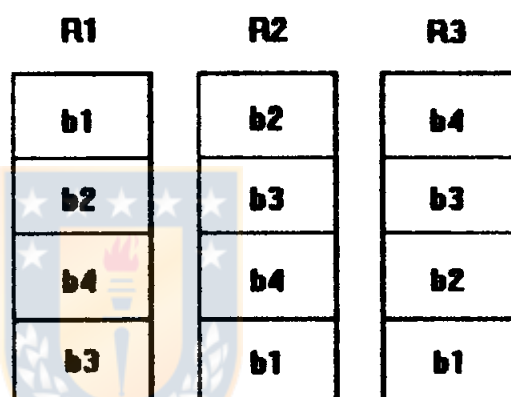
T7 = A2-b3

T8 = A2-b4

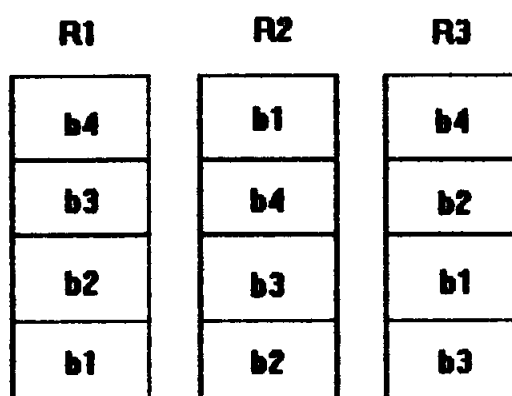
ANEXO 2.

Diagrama de distribución en el ensayo de los tratamientos (método de producción) y subtratamientos (concentración de hormona).

A1 : Raíz desnuda.



A2 : Raíz cubierta.



ANEXO 3.

Temperatura mensual promedio del sustrato para cada método de producción a tres distintas horas del día.

Temperatura 9C						
Mes	Platabanda			Contenedor		
	7:30	13:30	17:30	7:30	13:30	17:30
sep	6.13	17.39	12.30	5.74	15.78	12.04
oct	8.15	21.77	13.19	6.35	18.54	10.65
nov	12.54	28.46	22.96	9.13	23.54	19.33
dic	14.00	28.32	23.84	10.74	23.05	19.26
ene	13.38	34.31	33.92	10.08	28.46	27.23
feb	11.58	33.83	28.25	8.08	29.75	24.58
mar	11.44	31.78	28.67	7.11	25.44	21.78

Temperatura mensual media del sustrato para cada método de producción.

Temperatura 9C		
Mes	Platabanda	Contenedor
sep	11.94	11.19
oct	14.37	11.85
nov	21.32	17.33
dic	22.05	17.68
ene	27.21	21.92
feb	24.56	20.81
mar	23.96	18.11

ANEXO 4.

Temperatura ambiental media en el vivero a diferentes horas y media promedio durante los siete meses del ensayo.

Temperatura 9C

Mes	8:00 hrs	13:00 hrs	18:00 hrs	Media
sep	7.0	15.1	11.8	11.8
oct	8.1	15.8	15.9	13.3
nov	11.6	19.5	19.3	16.8
dic	13.6	21.6	25.1	19.7
ene	10.7	23.3	25.8	19.9
feb	8.9	23.8	26.9	19.9
mar	8.9	21.3	23.4	19.9

ANEXO 5.

Humedad relativa del aire en el vivero durante los siete meses del ensayo.

Humedad relativa (%)

Mes	8:00 hrs	13:00 hrs	18:00 hrs	Media
sep	91.5	66.9	67.1	75.2
oct	97.6	70.5	67.6	78.6
nov	87.9	58.1	51.6	65.9
dic	84.6	57.6	49.0	63.7
ene	88.5	51.9	39.9	56.5
feb	90.3	47.9	36.6	58.3
mar	99.1	44.3	38.3	62.9

ANEXO 6.

Precipitación mensual y acumulada en el vivero durante los siete meses del ensayo.

Mes	pp mensual (mm)	pp acumulada (mm)
sep	149.0	149.0
oct	134.0	283.0
nov	17.0	300.0
dic	51.0	351.0
ene	3.5	354.5
feb	2.0	356.5
mar	26.5	383.0

