

UNIVERSIDAD DE CONCEPCION

FACULTAD DE CIENCIAS FORESTALES

Departamento de Silvicultura



INFLUENCIA DE LA TEMPERATURA EN EL POTENCIAL DE
CRECIMIENTO RADICULAR EN PLANTAS DE: *Pinus radiata*,
Eucalyptus nitens y *Eucalyptus globulus*.

Por

ANDREA CAMILA MENDOZA QUINTANA

MEMORIA PRESENTADA PARA
OPTAR AL TITULO PROFESIONAL
DE INGENIERO FORESTAL

CONCEPCION - CHILE

1997

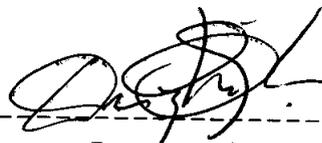
**INFLUENCIA DE LA TEMPERATURA EN EL POTENCIAL DE CRECIMIENTO
RADICULAR EN PLANTAS DE: Pinus radiata, Eucalyptus nitens y
Eucalyptus globulus.**

Profesor Asesor



René Escobar Rodríguez
Profesor asociado
Técnico Forestal

Profesor asesor



Darcy Ríos Leal
Profesora asistente
Profesora Biología y Química,
Doctora en Biología

Director Departamento
Silvicultura



Eduardo Peña Fernández
Profesor asistente
Ingeniero Forestal Ms.sc

Decano Facultad de Ciencias
Forestales

Jaime García Sandoval
Profesor asociado
Ingeniero Forestal

Calificación de la memoria de título:

René Escobar R.	:	puntos.
Darcy Ríos L.	:	puntos.



A DIOS
A MIS PADRES

AGRADECIMIENTOS

Quisiera agradecer, a todas aquellas personas que de una o otra forma hicieron posible la realización de esta tesis. No puedo dejar de mencionar a:

- Sr. José Alvarez (Forestal Mininco)
- Sr. Jorge Cancino
- Sr. Fernando Contreras
- Sr. Milton Correa
- Cristián
- Sr. Cristian Durán
- Sr. René Escobar
- Fernando
- Srta. Alejandra Medina
- Sr. Harlan Mendoza
- Srta. Paula Navarrete
- Sr. Alex Opazo
- Sra. María Rosa Quintana
- Sr. Eduardo Peña
- Sra. Darcy Ríos
- Sr. Gabriel Rojas
- Don Leo



Sinceramente, GRACIAS.

INDICE DE MATERIAS

CAPITULO		PAGINA
I	INTRODUCCIÓN.....	1
	1.1 Factores que influncian la expresión y desarrollo del PCR.....	2
II	MATERIAL Y METODO.....	4
	2.1 Características del ensayo.....	4
	2.1.1 Cuidados en la obtención del material.....	4
	2.1.1.1 Selección de las plantas.....	4
	2.1.1.2 Embalaje.....	4
	2.1.1.3 Almacenaje.....	4
	2.1.1.4 Época de montaje del ensayo.....	5
	2.1.2 Material vegetal.....	5
	2.1.3 Condiciones ambientales.....	6
	2.2 Lugar de ensayo.....	6
	2.3 Especificación de los tratamientos del ensayo.....	9
	2.4 Diseño experimental.....	9
III	RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	10
	3.1 Especie <u>Pinus radiata</u>	10
	3.2 Especie <u>Eucalyptus nitens</u>	12
	3.3 Especie <u>Eucalyptus globulus</u>	15
	3.4 Comparación entre especies.....	17

CAPITULO		PAGINA
IV	CONCLUSIONES.....	20
V	RESUMEN.....	21
VI	SUMMARY.....	22
VII	BIBLIOGRAFIA.....	23
VIII	APENDICES.....	27
IX	ANEXOS.....	47



INDICE DE TABLAS

TABLA N°		PAGINA
<u>En el texto</u>		
1	Tratamiento de temperaturas constantes a que se sometieron las plantas durante el ensayo de PCR.....	9
 <u>En apéndice</u>		
1 A	Datos de número de raíces nuevas en <u>Pinus radiata</u> con diseño por bloque al azar.....	28
2 A	Datos de longitud media de raíces más largas (en cm) en <u>Pinus radiata</u> con diseño por bloque al azar.....	28
3 A	Análisis de varianza para número de raíces nuevas en <u>Pinus radiata</u>	30
4 A	Análisis de varianza para longitud media (cm) de raíces más largas en <u>Pinus radiata</u>	31
5 A	Valores obtenidos luego de aplicar test de Tuckey en las variables: número de raíces nuevas y longitud media (cm) de raíces más largas para la especie <u>Pinus radiata</u>	33

6 A	Datos de número de raíces nuevas en <u>Eucalyptus nitens</u> con diseño por bloque al azar.....	35
7 A	Datos de longitud media (cm) de raíces más largas en <u>Eucalyptus nitens</u> con diseño por bloque al azar.....	35
8 A	Análisis de varianza para número de raíces nuevas en <u>Eucalyptus nitens</u>	37
9 A	Análisis de varianza para longitud media de raíces más largas (en cm) en <u>Eucalyptus nitens</u>	38
10 A	Valores obtenidos luego de aplicar test de Tuckey en las variables: número de raíces nuevas y longitud media (cm) de raíces más largas para la especie <u>Eucalyptus nitens</u>	40
11 A	Datos de número de raíces nuevas en <u>Eucalyptus globulus</u> con diseño por bloque al azar.....	43
12 A	Datos de longitud media de raíces más largas (en cm) en <u>Eucalyptus globulus</u> con diseño por bloque al azar.....	43
13 A	Análisis de varianza para número de raíces nuevas en <u>Eucalyptus globulus</u>	45
14 A	Análisis de varianza para longitud media de raíces más largas (en cm) en <u>Eucalyptus globulus</u>	46

En el anexo

1 B	Esquemas de manejo radicular a que fueron sometidas plantas de <u>Pinus radiata</u> , producidas a raíz desnuda.....	47
2 B	Esquemas de fertilización a que fueron sometidas plantas de <u>Pinus radiata</u> , producidas a raíz desnuda.....	47
3 B	Esquemas de fertilización a que se sometieron plantas de <u>Eucalyptus nitens</u> , producidas en contenedores.....	48
4 B	Esquema de fertilización en producción de plantas de <u>Eucalyptus globulus</u>	49



INDICE DE FIGURAS

FIGURA N°		PAGINA
<u>En el texto</u>		
1	Proceso de conteo de raíces en plantas de <u>Pinus radiata</u>	7
2	Raíces nuevas más largas no suberizadas, en color blanco, en plantas de <u>Eucalyptus globulus</u>	8
3	Número de raíces nuevas y longitud media (cm) de las tres raíces más largas en plantas de <u>Pinus radiata</u>	10
4	Número de raíces nuevas y longitud media (cm) de las tres raíces más largas en plantas de <u>Eucalyptus nitens</u>	12
5	Número de raíces nuevas y longitud media (cm) de las tres raíces más largas en plantas de <u>Eucalyptus globulus</u>	15

I INTRODUCCIÓN

Calidad de planta es uno de los tópicos más extensamente discutidos en viveros y ciencias de reforestación; actualmente para su determinación, previa a la plantación, se utiliza la prueba de Potencial de Crecimiento Radicular (PCR) o Capacidad de Crecimiento Radicular (CCR). Ésta fue definida por Ritchie (1985) como: "una medida de capacidad de las plantas de producir nuevas raíces en un ambiente ideal". Éstas deberán estar en el umbral natural: entre al menos 5 y 10 raíces nuevas (Simpson et al. 1988; Ritchie y Tanaka 1990) y cercanas a 1 cm de longitud (Binder et al. 1988, Simpson et al. 1988 y Burdett 1979).

Para utilizar esta prueba han sido consideradas la exactitud, precisión y repetitividad (Binder et al. 1988), que corresponden a los factores elementales que determinan su uso. Es útil sobre todo para especies que poseen dormancia invernal y que tienen un alto requerimiento de frío, como es el caso de las coníferas (Ritchie 1985).

Por más de cuatro décadas, esta prueba ha sido usada como un indicador de calidad fisiológica de las plantas (New Zealand Forest Institute 1988), en especial como respuesta al ambiente, ya que existe una relación directa entre la cantidad de raíces que una planta puede producir bajo condiciones ideales y el comportamiento de éstas en terreno, como lo es la supervivencia inicial o crecimiento subsecuente de plantas de invernadero (Landis y Skakel 1988).

A pesar de las contradictorias opiniones entre Binder et. al (1988) y Ritchie y Tanaka (1990), respecto de lo que predice la prueba de PCR, debe destacarse la relevancia de ella, al permitir el resguardo del abastecimiento de plantas desde el vivero, antes de ser plantadas (Sutton 1990).

Es importante tener presente que el PCR considera sólo un aspecto de la calidad de la planta, que debe incluirse en conjunto con otra información para determinar el verdadero estado en que ésta se encuentra (New Zealand Forest Institute 1988).

Para un buen establecimiento en terreno (que implica alto porcentaje de supervivencia y crecimiento inicial en corto tiempo), es importante conocer el rango de temperatura en que crecen y se desarrollan las raíces de las plantas. Este conocimiento permitiría producir plantas para sitios particulares, con regímenes térmicos específicos asegurando una mayor supervivencia de éstas.

1.1. Factores que influyen en el desarrollo y expresión del PCR.

- **Endógenos:** Para el desarrollo de PCR, la condición fisiológica de la planta al momento de su cosecha, es decir, su estado de dormancia y su contenido total de carbohidratos. En cuanto a la expresión del PCR, se consideran los procesos de fotosíntesis y respiración. (Ritchie, 1985)

- **Exógenos:** El desarrollo del PCR se verá influenciado principalmente por: i) el ambiente del vivero (**temperatura** del aire), ii) prácticas culturales (manejo de raíces y fecha de extracción) y iii) condiciones de almacenaje. Posteriormente la expresión de este parámetro dependerá de los factores de sitio, tales como **temperatura**, humedad (muy relacionada con sobrevivencia), compactación (aireación) nutrientes del suelo y finalmente el manejo y la calidad de plantación (Tabbush 1986).

Según Ritchie (1985), el factor limitante más importante para la expresión de PCR es la **temperatura del sustrato**.

Dentro de este marco, el Departamento de Silvicultura de la Facultad de Ciencias Forestales, en conjunto con el Departamento de Plantaciones de Forestal Mininco, inicia una línea de investigación sobre Potencial de Crecimiento Radicular (PCR) para Pinus radiata, Eucalyptus nitens y Eucalyptus globulus en cuya primera etapa se incluye el presente trabajo.

El objetivo de este trabajo es evaluar la influencia de diferentes rangos de temperatura en el PCR, información básica para la continuidad de la línea de investigación.

II MATERIAL Y MÉTODO

2.1 Características del ensayo.

2.1.1 Cuidados en la obtención del material.

2.1.1.1 Selección de las plantas. Depende de los parámetros considerados para homogeneizar el material de prueba, tales como: edad, tamaño de la planta (diámetro de tallo- altura), volumen radicular, manejo cultural. Dentro de este último se incluyen esquemas de fertilización, sugeridos por Engels y Marschner (1990) quienes han comprobado que influyen en el crecimiento de las raíces; además, control de malezas, podas radiculares y que sean provenientes de una misma familia (ojalá genéticamente mejorada).

2.1.1.2 Embalaje. Debe tenerse cuidados especiales en el embalaje (en lo posible: hermético) y transporte; este último debe realizarse temprano por la mañana y dentro de un máximo de 48 horas, para evitar estrés hídrico en las plantas (Landis y Skakel 1988; Peña 1996).

2.1.1.3 Almacenaje. Según Simpson y Vyte (1995) existen diferencias significativas en el PCR, al variar el tipo de almacenaje y el manejo a que son sometidas; también se aseguró que éste fuera el mismo para cada especie, evitando así tener mayor variabilidad entre las plantas.

Además, considerando lo señalado por Landis y Skakel (1988), se tuvo cuidado de que las raíces de las plantas no fueran expuestas a la luz durante el ensayo, ya que los

resultados no serían óptimos al producirse inhibición en el crecimiento de ellas, producto de la foto-oxidación.

2.1.1.4 Época de montaje del ensayo. Se optó por la propuesta de Landis y Skakel (1988), es decir dentro del período comprendido entre fines de junio - principios de julio, ya que aquí se producen los más altos valores de PCR, en comparación con lo que ocurre en primavera (Ritchie, 1985).

Ritchie y Tanaka (1990) observaron que el PCR exhibe fuertes ciclos estacionales (periodicidad), debidos a las reservas de carbohidratos para la elongación y al ciclo anual de dormancia (intensidad). Es importante tenerlo presente al elegir la época en que se experimentará.

2.1.2 Material vegetal.

Las plantas de Pinus radiata y Eucalyptus nitens fueron extraídas el 15 de julio de 1997 y el 16 del mismo mes y año, las de Eucalyptus globulus. Al momento de su cosecha, éstas se encontraban en estado de dormancia.

Durante el cultivo, todas las plantas fueron sometidas a esquemas de acondicionamiento y/o fertilización específicos, dependiendo de cada especie y de su modalidad de producción (ver anexo).

2.1.3 Condiciones ambientales.

Las plantas de Pinus radiata y de Eucalyptus nitens fueron proporcionadas por Forestal Mininco S.A., desde el vivero ubicado en el fundo Colicheu, en Cabrero; y las de Eucalyptus globulus, desde el vivero "Los Quillayes", ubicado en Quillón. La modalidad de producción de las plantas fue diferente para cada especie: estacas "a raíz desnuda" para pino; semillas, "mitad y mitad", para E. globulus y en contenedores para E. nitens .

Las plantas se homogenizaron a través del diámetro de cuello, entre 7 y 8 mm y altura entre 30 y 35 cm, en plantas producidas a raíz desnuda. Sin embargo en plantas producidas en contenedores, estas dimensiones fueron de magnitud inferior: 3 a 4 mm para el cuello y 15 a 17 cm de altura. La cosecha y extracción se realizó a tempranas horas del día, para causar el menor estrés morfofisiológico posible (Landis y Skakel 1988 y Peña 1996).

2.2 Lugar de ensayo.

En el Laboratorio de Fisiología de Árboles de la Facultad de Ciencias Forestales de la Universidad de Concepción, las plantas fueron sometidas a lavado del sistema radicular y posterior eliminación de raíces no suberizadas, cuando las hubiera (Peña 1996 y Santibañez 1997)

El ensayo se realizó en Cámaras Aeropónicas de Crecimiento Radicular , bajo las siguientes condiciones:

- **Largo de raíces:** Consiste en medir longitud de las 3 raíces más largas, de magnitud mayor o igual a 0.5 cm. (Ver Figura 2).



Figura 2. Raíces nuevas más largas no suberizadas, en color blanco, en plantas de Eucalyptus globulus.

Ambas variables son evaluadas para cada planta componente del ensayo.

- frecuencia de riego: cada 6 minutos
- duración de cada aspersion: 4 segundos
- duración total del ensayo: 30 días.

Las temperaturas para cada tratamiento variaron, según los objetivos planteados.

La evaluación del ensayo se realizó siguiendo la metodología propuesta por Ritchie y Tanaka (1990). Las variables consideradas en este estudio fueron:

- **Número de raíces nuevas:** Consiste en el conteo de raíces nuevas, no suberizadas, identificadas por su color blanco (Ver Figura 1).

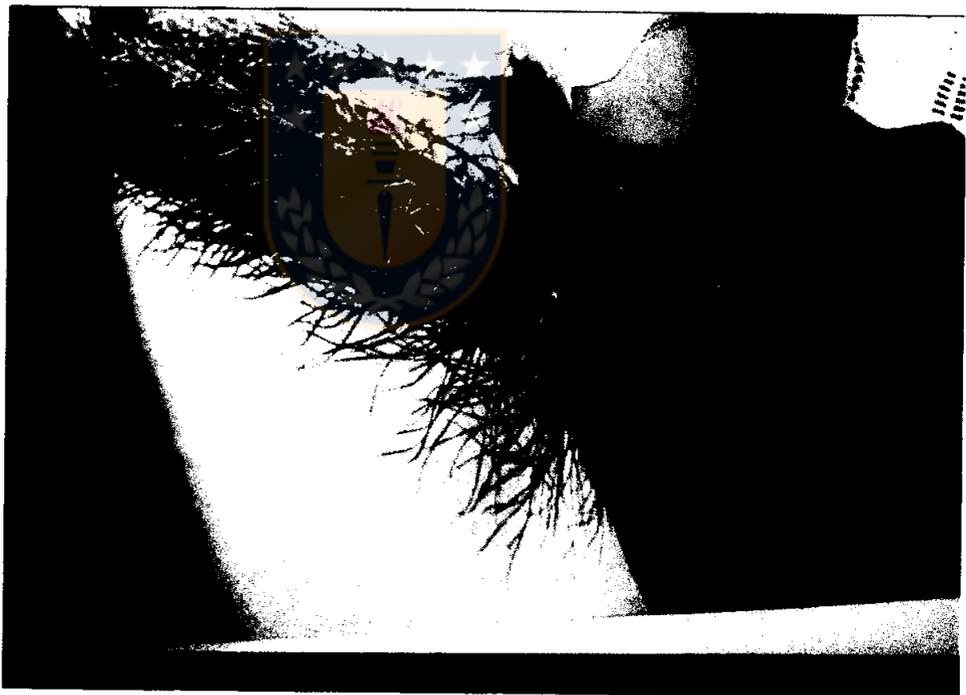


Figura 1. Proceso de conteo de raíces en plantas de Pinus radiata.

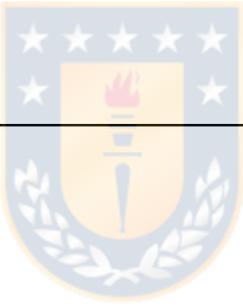
2.3 Especificación de los tratamientos del ensayo.

Se trabajó en un rango comprendido entre 5 y 22°C de temperatura, aplicadas en forma constante.

Se utilizaron cuatro tratamientos identificados como se presenta en la Tabla 1:

Tabla 1. Tratamientos de temperaturas constantes a que se sometieron plantas durante el ensayo de PCR.

Tratamiento	Temperatura
T1	5°C
T2	12°C
T3	17°C
T4	22°C



2.4 Diseño experimental.

Se utilizó el diseño experimental de Bloques Aleatorizados (Montgomery 1991), con 5 repeticiones. La unidad experimental está constituida por 5 plantas en el caso de P. radiata y E. globulus, y de 4 plantas para E. nitens.

Cuando hubo diferencias significativas entre las medias y varianzas de los tratamientos, estos se identificaron a través del Test de Tukey y Prueba Fisher, respectivamente.

III RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1 Especie Pinus radiata.

En la Figura 3 se muestran los resultados obtenidos con las plantas de Pinus radiata.

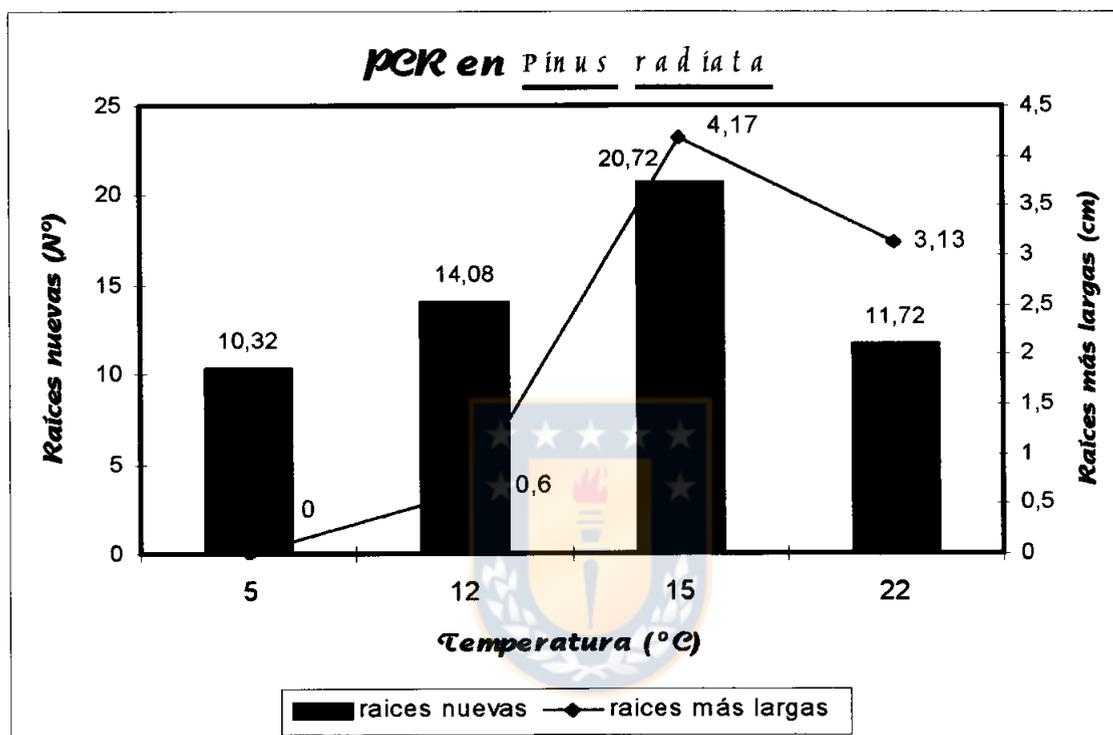


Figura 3. Número de raíces nuevas y longitud media de las tres raíces más largas (cm) en plantas de Pinus radiata

En ella, se observa crecimiento radicular en todo el rango de temperatura utilizado para el ensayo (5 y 22°C).

Tanto el número total de raíces nuevas, como la longitud media de ellas, aumenta linealmente entre los 5°C y 17°C; a 5°C no se producen raíces nuevas mayores a 0,5 cm de longitud; y a 17°C, ambas variables logran los valores más altos. Las diferencias producidas entre estas dos temperaturas son significativas, y corresponden a un 50 y

100% para el número de raíces nuevas y raíces más largas, respectivamente.

Lo mismo ocurre para la variable de raíces más largas, entre las temperaturas 12 y 17°C, donde las diferencias llegan a ser de un 86%.

A partir de 22°C los valores de ambas variables disminuyen; la diferencia es significativa y corresponde a un 56,6% en el caso de número de raíces nuevas. Es probable que esta tendencia continúe al seguir aumentando la temperatura por sobre 22°C.

Para ambas variables, las diferencias son estadísticamente significativas (Apéndice: Tabla 5).

En clasificación establecida por Burdett (1979), donde determina categorías de PCR según el número de raíces, de longitud mayor a 1 cm, la especie Pinus radiata corresponde a categoría 4 para 17 y 22°C.

3.2 Especie: Eucalyptus nitens

En la Figura 4, se presentan los resultados obtenidos en plantas de Eucalyptus nitens.

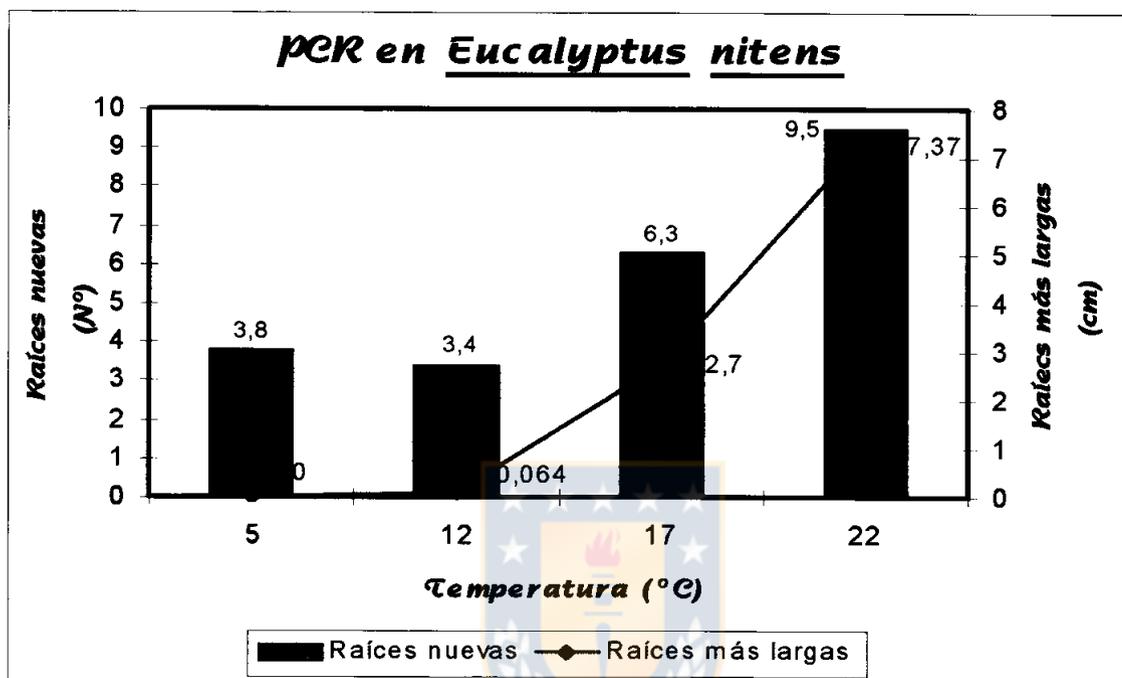


Figura 4. Número de raíces nuevas y longitud media de las tres raíces más largas (cm) en plantas de Eucalyptus nitens.

En la Figura se observa que las raíces crecen en todo el rango de temperatura considerado para efectos de este ensayo, es decir, entre 5 y 22°C; la relación entre crecimiento y temperatura es directa en este rango. Sin embargo, a diferencia de lo que ocurre en la conífera Pinus radiata, en este caso el **mejor tratamiento**, reflejado en el comportamiento de ambas variables (número de raíces nuevas y raíces más largas), es a **22°C de temperatura** y no a 17°C.

En la Figura 4, se observa que a 22°C, el número promedio de raíces nuevas es 9,5; lo que implica una diferencia de 60 y 64,2 % respecto de resultados obtenidos a 5 y 12°C, respectivamente. Por otra parte, lo sucedido con el largo de las raíces es aún más representativo, ya que existe un 100% de diferencia con valores obtenidos a 5°C, 99,1 % con los de 12°C y 63,4 % con los de 17°C. Todas las diferencias son estadísticamente significativas.

Al considerar la clasificación de Burdett (1979), esta especie corresponde a la categoría 3.

En esta especie hubo clara manifestación de deficiencias nutricionales, probablemente de N, ya que a partir de la primera semana de ensayo y hasta su término, se observó defoliación, decoloración (clorosis) y cierto grado de marchitez en las plantas. Lo anterior posiblemente fue acelerado con la aplicación de los distintos tratamientos de temperatura del ensayo, siendo más notorio en el de 5°C.

Una explicación probable para este último hecho podría basarse en los estudios realizados por Engels y Marschner (1990), quienes encontraron que al aplicar bajas temperaturas en la raíz, las concentraciones de N,P,K en zona radicular disminuyen cuando las plantas crecen en suelo de baja fertilidad. En cambio en suelo fértil, descubrieron que se ve favorecido este comportamiento mineral. Lo anterior podría deberse a que los elementos translocados pueden ser rápidamente reemplazados por existir sin restricciones en el sustrato.

La primera situación (suelo de baja fertilidad)

anteriormente planteada es la que se produciría durante este ensayo de PCR, ya que el agua de las cámaras aeropónicas no poseían ningún tipo de nutrientes. Esto provocaría, probablemente una rápida translocación de los elementos (N,P,K), los cuales no pueden ser reemplazados y producen los síntomas y signos observados en las plantas.

Rose (1992), determinó que las reservas de carbohidratos pueden llegar a afectar el PCR; y que las reservas son función exponencial de la temperatura. Luego, una baja concentración de carbohidratos junto a una baja temperatura, podrían llevar a valores de PCR inferiores.



3.3 Especie: Eucalyptus globulus.

En la Figura 5, se muestran los resultados obtenidos en las plantas de Eucalyptus globulus.

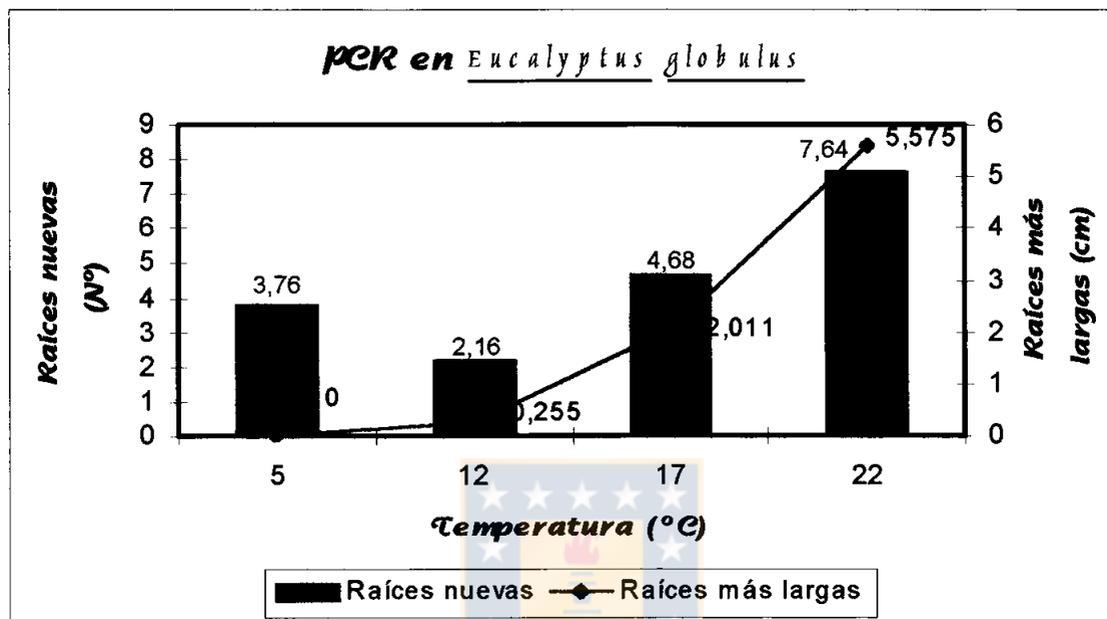


Figura 5. Número de raíces nuevas y longitud media de tres raíces más largas (cm) en plantas de Eucalyptus globulus.

Se observa que la **mejor temperatura**, tanto en número como en largo de raíces, es **22°C**. Sin embargo, el análisis de varianza respectivo señala que **no existe diferencia significativa entre tratamientos**.

Según la tabla de Burdett (1979), la especie Eucalyptus globulus quedaría clasificada en la categoría 3.

Además, de la Figura 5 se desprende que el crecimiento de las raíces se produce en todo el rango de temperatura analizado; sin embargo, la tendencia permite observar en la figura 5, que existe una mejor respuesta de PCR (en término de raíces nuevas), a 5°C que a 12°C.

Lo anterior se verifica, ya que en esta última temperatura se produce un quiebre en el tramo descendente, para luego repuntar y continuar aumentando en las dos temperaturas restantes (17 y 22°C).

No obstante la carencia de fundamento estadístico de las observaciones, resulta interesante realizarlas para comprobar la importancia de hacer pruebas estadísticas y obtener así resultados significativos. De las observaciones anteriores, se asume que a cualquier temperatura comprendida dentro del rango del ensayo, la especie Eucalyptus globulus desarrolla un crecimiento de raíces que le permite tener un alto porcentaje de supervivencia y un buen crecimiento inicial en terreno de la planta.

La Figura 5, no alcanza a mostrar cual será la temperatura en que se produzca el máximo crecimiento de raíces nuevas de la especie; sin embargo, nuevos estudios podrían determinar las temperaturas que limitan el crecimiento y desarrollo de las raíces de esta especie.

Al margen de los resultados obtenidos, es importante conocer el fotoperíodo a que se sometieron las plantas en el invernadero, ya que en algunas especies se ha observado una estrecha relación entre este factor y el crecimiento de raíces. Con respecto a lo anterior Mozafar et al. (1993) comprobaron que, al aumentar el fotoperíodo a una temperatura dada, en la zona radicular disminuye la concentración de elementos minerales; mientras que al aumentar la temperatura de la zona de la raíz, en un fotoperíodo dado, aumentan las concentraciones de un mayor

número de elementos minerales en raíz y ápices.

Es importante considerar aspectos tales como observar qué ocurre al variar la temperatura día - noche; ya que es sabido que la temperatura diferencial de la raíz, tiende a aumentar su crecimiento (disminuyendo a su vez el del tallo), como señalaran Karslsen y Bertram (1995). O bien, manejar y controlar el fotoperíodo durante el ensayo, pretendiendo determinar la cantidad de horas luz ideal requerida por la especie, para que la respuesta esperada frente a las distintas temperaturas sea óptima.

3.4 Comparación entre las especies

Es de vital importancia obtener la temperatura de sustrato en que mejor se desarrollan las raíces, ya que, como indicaran Barber et al. (1988): la temperatura del suelo (sustrato) afecta el crecimiento de los componentes del sistema de raíces, éstos se ven afectados en su: iniciación y bifurcación, orientación y dirección de crecimiento y que las raíces presenten un geotropismo positivo perfecto, sobre todo en las capas más profundas del suelo, debido a que son más frías.

Kaspar y Bland (1992) reafirman lo anterior, y señalan que conocer estos datos en las distintas especies, ayuda a asegurar a la planta una penetración del sistema radicular más proporcionada y perfecta al momento de ser plantada.

Además, luego de observar y predecir la tendencia general de las figuras de PCR versus temperatura, para las tres especies en estudio, se desprende que éstas siguen al

comienzo una tendencia similar a la observada por Glinski y Lipiec (1990).

Según lo muestran las cifras, y luego de analizar las Figuras 3, 4 y 5, se observa que al aplicar una temperatura de 5°C, para las tres especies no crecen raíces de longitud igual o superior a 0,5 cm., confirmándose así lo indicado por estudios hechos en coníferas por Simpson et al. (1994), quien encontró que a bajas temperaturas, disminuyen los niveles de Potencial de Crecimiento Radicular (PCR).

Al comparar los valores de temperatura obtenidos como rangos óptimos para el crecimiento de raíces en las especies: Pinus radiata (17°C), Eucalyptus nitens (22°C) y Eucalyptus globulus (rango comprendido entre 5°C y 22°C) con otras especies estudiadas, se observan diferencias notables. Por ejemplo: es sabido que la temperatura ideal para raíces de plantas de cebolla (Allium cepa) es de 30°C, donde se produce un máximo crecimiento, observándose un quiebre en valores cercanos a 35°C.

En general, a altas temperaturas, el transporte de sustrato y productos del metabolismo (azúcares, oxígeno y CO₂), basados principalmente en procesos de difusión, se convierten en factores limitantes a temperaturas cercanas a 35°C, donde el sistema protoplasmático disminuye su funcionamiento (Glinski y Lipiec 1990).

El presente estudio no considera temperaturas extremas, ya que su comportamiento resulta totalmente predecible al tomar en cuenta los análisis hechos por Puttonen (1988)

(citado por Simpson et al. (1994)), quien descubrió que al estresar plantas con altas temperaturas, aumenta la proporción de respiración y el consumo de carbohidratos no estructurales en el rango entre 35 y 38°C, límite a partir del cual el crecimiento general comienza a disminuir.

Sin embargo, comparativamente se han encontrado otras temperaturas óptimas para el crecimiento de raíces de plantas, como por ejemplo 28°C para maíz (Zea mays), lo cual fue cuantificado en los primeros 20 cm de suelo por Barber et al. (1988).

También se conoce la respuesta positiva de otras especies en un rango relativamente alto de temperatura; así lo estudiaron Du y Tachibana (1994), quienes comprobaron que altas temperaturas en la raíz (25 a 30°C) por 10 días, mejora la respiración de ella en plantas de pepino (Cucumis sativus). Sin embargo, a los 38°C se producía clorosis, ya que la solubilidad del oxígeno disminuye en este rango (35-38°C) y los azúcares solubles incrementan 10 veces más que a 25°C.

Actualmente no se conocen estudios tan específicos, referidos a respuesta de raíces a distintas temperaturas en especies leñosas forestales, de allí la relevancia de los resultados del presente estudio.

IV CONCLUSIONES

- ◆ Para la especie Pinus radiata se determinó que la prueba de Potencial de Crecimiento Radicular responde mejor al tratamiento de temperatura de 17°C.
- ◆ En la especie Eucalyptus nitens, se determinó que la mejor temperatura para el crecimiento de las raíces de las plantas es de 22°C, según la prueba de PCR.
- ◆ Eucalyptus globulus, por el contrario de las dos especies anteriores, no muestra diferencias significativas entre tratamientos, lo que implica que se comporta en forma similar en el rango de temperatura entre 5 y 22°C.
- ◆ Las temperaturas obtenidas anteriormente, son de vital importancia para estudios posteriores de la línea de investigación de PCR. De este modo podrán obtenerse resultados más exactos en las respuestas específicas requeridas.

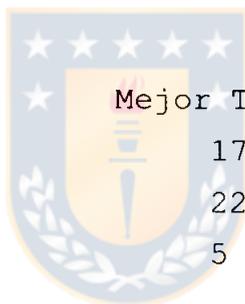
V RESUMEN

Utilizando Cámaras aeropónicas, se desarrolló un estudio para determinar el comportamiento del Potencial de Crecimiento Radicular (PCR) de plantas, sometidas a distintas temperaturas: 5, 12, 17, 22°C; de las especies: Pinus radiata, Eucalyptus nitens y Eucalyptus globulus.

El PCR se evaluó a través del número de raíces nuevas y la longitud media de las tres raíces más largas (en cm).

Para ambas variables, los mejores resultados obtenidos para cada especie son:

Espece	Mejor Temperatura
<u>Pinus radiata</u>	17°C
<u>Eucalyptus nitens</u>	22°C
<u>Eucalyptus globulus</u>	5 - 22°C



VI SUMMARY

An study for determinate the performance of Root Growth Potential (RGP) was developed using aeroponic cameras. The plants were placed at four different temperatures: 5, 12, 17, 22 °C and three different species were evaluated: Pinus radiata, Eucalyptus nitens and Eucalyptus globulus.

The RGP was evaluated with two parameters: The number of new roots and the large of the three largest roots (in cm). The best results obtained was:

Species	Best Temperature
<u>Pinus radiata</u>	17°C
<u>Eucalyptus nitens</u>	22°C
<u>Eucalyptus globulus</u>	5 - 22°C



VII BIBLIOGRAFÍA

- Barber, S.A.; A.D. Mackay; R.O. Kuchenbuch y P.B. Barraclough. 1988. Effects of soil temperature and water on maize root growth. *Plant and Soil*. Vol. 111(2):267-269.
- Binder, W.D.; R.K. Skagel y G.J. Krumlik. 1988. Root growth Potential: facts, myths, value?. En: *Proceedings, Western Forest Nursery Association Meeting*. Pp: 111-118. August 8-11, 1988. Veron, British Columbia.
- Burdett, N. 1979. New methods for measuring root growth capacity their value in assessing lodgepole pine stock quality. *Canadian Journal of Forestry Research*. 9:63-67.
- Du, Y.C. y S. Tachibana. 1994. Effect of supraoptimal root temperature on the growth, root respiration and sugar content of cucumber plants. *Scientia Horticulturae*. Vol. 58(4):289-301.
- Engels, Ch. y H. Marschner. 1990. Effect of suboptimal root zone temperature at varied nutrient supply and shoot meristem temperature on growth and nutrient concentrations in maize seedlings (*Zea mays* L.). *Plant and Soil*. Vol 126(2): 215-225.
- Glinski, J. y J. Lipiec. 1990. *Soil physical conditions and plants roots/ Jan Glinski and Jerzy Lipiec*. CRC Press. Inc. Boca Raton, Florida- USA. 250pp.

- Karlsen, P. y L. Bertram. 1995. Growth of young *Dendranthema* plants in relation to constant and differential air and root temperature. *Acta Horticulture*. (378):87-91.
- Kaspar, T.C. y W. L. Bland. 1992. Soil temperature and root growth. *Soil Science*. Vol. 154 (4): 290-299.
- Landis, T.D. y S.G. Skakel. 1988. Root growth potential as an indicator of outplanting performance: problems and perspectives. In: *Proceedings, Western Forest Nursery Association Meeting*. Pp: 106-110. August 8-11, 1988. Veron, British Columbia.
- Montgomery, D. 1991. *Diseño y análisis de experimentos*. Grupo Editorial Iberoamérica. México D.F.
- Mozafar, A.; P. Schreiber and J.J. Oertli. 1993. Photoperiod and root-zone temperature: Interacting effects on growth and mineral nutrients of maize. *Plant and Soil*. Vol. 153(1): 71-78.
- New Zealand Forest Research Institute (N.Z.F.R.I). 1988. Seedling quality and seedling specifications of radiata pine . *What's New in Forest Research*. N° 171.
- Peña, I.M. 1996. Potencial de Crecimiento Radicular de plantas de *Pinus radiata* con diferente potencial hídrico. Memoria de título. Universidad de Concepción, Facultad de Ciencias Forestales, Departamento de Silvicultura. Concepción, Chile.

- Ritchie, G.A. 1985. Root growth potential: principles, procedures and predictive ability. In: M.L. Duryea (Ed.) Evaluating seedling quality: principles, procedures and predictive abilities of major seedling quality tests. Proc. of the Workshop. Pp: 93-105. October 16-18, 1984. Oregon State University, Corvallis, Oregon, USA.
- Ritchie, G.A. y Y. Tanaka. 1990. Root growth potential and the target seedling. En: Rose, R., S.J. Campbell, and T.D. Landis (Ed.). Target seedling symposium: Proceedings Combined Meeting of the western Forest Nursery Association. Pp:37-51. 13-17 August, 1990.
- Rose, R. 1992. Root growth potential y starch Differences in seedlings of six families of genetically improved Loblolly pine. Forest Science. Vol. 38(2):448-456.
- Santibañez, C. 1997. Efecto del esquema de manejo en el vivero, sobre el Potencial de Crecimiento Radicular de plantas de Eucalyptus globulus Labill. Memoria de título. Universidad de Concepción, Facultad de Ciencias Forestales, Departamento de Silvicultura. Concepción, Chile.
- Simpson, D.G.; C.F. Thompson y C.D. Sutherland. 1994. Field performance potential of interior spruce seedlings: effects of stress treatments and prediction by root growth potential and needle conductance. Canadian Journal of Forestry Research. Vol. 24(3): 576-586.
- Simpson, D.G. y A. Vyse. 1995. Planting stock performance:

site and RGP effects. The Forestry Chronicle. Vol. 71(6): 739-742.

Simpson, D.G.; A. Vyse and C.F. Thompson. 1988. Root growth capacity effects on field performance. In: Proceedings, Western Forest Nursery Association Meeting. Pp: 119-121. August 8-11, 1988. Veron, British Columbia.

Sutton, R.F. 1990. Root growth capacity in coniferous forest trees. HortSci. 25:259-266.

Tabbush, P. 1986. Rough handling, soil temperature, and root development in outplanted Sitka spruce and Douglas-Fir. Canadian Journal of Forestry Research. 16:1385-1388.



VIII APÉNDICE

APÉNDICE 1

TABLAS DE DATOS OBTENIDOS EN ENSAYO PCR DE NÚMERO DE RAÍCES NUEVAS Y LONGITUD DE RAÍCES MÁS LARGAS PARA Pinus radiata.

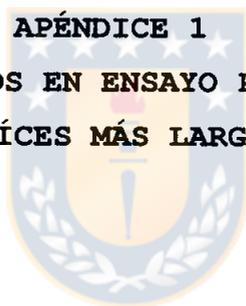


Tabla 1A. Datos de NÚMERO DE RAÍCES NUEVAS en Pinus radiata con diseño por bloque al azar.

Trat. \ Bloq.	I	II	III	IV	V	SUMA	PROMEDIO
T1	9	10,4	10	11,2	11	51,6	10,32
T2	13,6	14,6	18,8	11,8	11,6	70,4	14,08
T3	26,8	18,6	14,2	20,2	23,8	103,6	20,72
T4	6,6	17,6	8,6	12	14,4	58,8	11,72
SUMA	56	61,2	51,2	55,2	60,8	284,4	

Tabla 2A. Datos de longitud RAÍCES MÁS LARGAS (cm) en Pinus radiata con diseño por bloque al azar.

Trat. \ Bloq.	I	II	III	IV	V	SUMA	PROMEDIO
T1	0	0	0	0	0	0	0
T2	0,466	0,76	0,813	0,373	0,573	2,985	0,597
T3	8,227	3,087	2,393	4,846	2,287	20,84	4,168
T4	2,107	5,886	2,105	1,527	4,045	15,67	3,134
SUMA	10,8	9,733	5,311	6,746	6,905	39,475	

APÉNDICE 2
ANÁLISIS DE VARIANZA DE RESULTADOS DEL ENSAYO DE PCR EN
PLANTAS DE Pinus radiata.



ANÁLISIS DE VARIANZA:

Se aplicó prueba de Fisher con un nivel de confianza del 95%.

a : número de tratamientos = 4

b : número de bloques = 5

N : $4 \times 5 = 20$

▪ Para NÚMERO DE RAÍCES NUEVAS:

Y RAÍCES NUEVAS = 284,4

Y² RAÍCES NUEVAS = 80.883,36

Tabla 3A. Análisis de varianza para NÚMERO DE RAÍCES NUEVAS en Pinus radiata.

Fuente de variación	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Media de cuadrados	F _{calculado}	F _{tabla}
Tratamiento	317,656	3	105,885	6,333	3,4903
Bloques	17,472	4	4,368	0,261	3,2592
Error	200,624	12	16,729		
Total	535,752	19			

▪ Para RAÍCES MÁS LARGAS:

Y RAÍCES MÁS LARGAS = 39,475

Y² RAÍCES MÁS LARGAS =1559,855

Tabla 4A. Análisis de varianza para RAÍCES MÁS LARGAS en Pinus radiata.

Fuente de variación	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Media de cuadrados	F _{calculado}	F _{tabla}
Tratamiento	59,760	3	19,92	7,28	3,4903
Bloques	5,198	4	1,3	0,48	3,2592
Error	32,835	12	2,736		
Total	97,793	19	5,147		

Al analizar los valores de las Tablas 3 y 4, y ver qué ocurre entre bloques, se aprueba H_0 , luego **no existe evidencia de diferencias significativas entre bloques**. Por el contrario al analizar lo ocurrido entre tratamientos, se observa que en ambos casos se rechaza la hipótesis nula, luego se puede afirmar que **existe diferencia significativa entre tratamientos**.



APÉNDICE 3

**RESULTADOS TEST DE TUKEY APLICADO A DATOS DE *Pinus radiata*
OBTENIDOS EN ENSAYO DE PCR A DISTINTAS TEMPERATURAS.**



TEST DE TUKEY:

$T_{0.05} = 8,589$ (RAÍCES NUEVAS) y $T_{0.05} = 3,474$ (RAÍCES MÁS LARGAS)

Tabla 5A. Valores obtenidos luego de aplicar el test de Tuckey en las variables: número de raíces nuevas y raíces más largas para Pinus radiata.

Diferencia	Valor RAÍCES NUEVAS	Valor RAÍCES MÁS LARGAS
T1 - T2	3,76	0,597
T1 - T3	10,4 *	4,168 *
T1 - T4	1,44	3,134
T2 - T3	6,64	3,571 *
T2 - T4	2,32	2,537
T3 - T4	8,96 *	1,034

- Resumiendo:

Para número de raíces nuevas:
T1 - T3 - T4 - T2

Para raíces más largas:
T1 - T3 - T2 - T4

Luego de aplicar el test de Tukey se determinó que: **existen diferencias significativas entre los 5 y 17°C; entre los 12 y 22°C y entre los 17 y 22°C.**

APÉNDICE 4

**TABLAS DE DATOS OBTENIDOS EN ENSAYO PCR DE NÚMERO DE RAÍCES
NUEVAS Y LONGITUD DE RAÍCES MÁS LARGAS PARA Eucalyptus**

nitens.



Tabla 6A. Datos de NÚMERO DE RAÍCES NUEVAS en Eucalyptus nitens con diseño por bloque al azar.

Trat. \ Bloq.	I	II	III	IV	V	SUMA	PROMEDIO
T1	5,25	4,25	4,5	2	3	19	3,8
T2	6,25	3,5	2	2,25	3	17	3,4
T3	4,75	8,25	7,25	7,25	4	31,5	6,3
T4	3,5	14,25	10,25	8,75	10,75	47,5	9,5
SUMA	19,75	30,25	24	20,25	20,75	115	

Tabla 7A. Datos de RAÍCES MÁS LARGAS en Eucalyptus nitens con diseño por bloque al azar.

Trat. \ Bloq.	I	II	III	IV	V	SUMA	PROMEDIO
T1	0	0	0	0	0	0	0
T2	0,1	0,042	0,092	0	0,084	0,318	0,064
T3	1,817	3,742	2,742	2,075	1,475	11,851	2,70
T4	1,883	8,867	13,008	7,592	5,5	36,85	7,37
SUMA	3,8	12,651	15,842	9,667	7,059	49,019	

APÉNDICE 5 ★

**ANÁLISIS DE VARIANZA DE RESULTADOS DEL ENSAYO DE PCR EN
PLANTAS DE Eucalyptus globulus.**

ANÁLISIS DE VARIANZA:

Se aplicó prueba de Fisher con un nivel de confianza del 95%

a : número de tratamientos = 4

b : número de bloques = 5

N : $4 \times 5 = 20$

▪ Para NÚMERO DE RAÍCES NUEVAS:

Y RAICES NUEVAS = 115

Y² RAICES NUEVAS = 13.225

Tabla 8A. Análisis de varianza para NÚMERO DE RAÍCES NUEVAS en Eucalyptus nitens.

Fuente de variación	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Media de cuadrados	F _{calculado}	F _{tabla}
Tratamiento	118,45	3	39,483	6,437	3,4903
Bloques	19,118	4	4,797	0,78	3,2592
Error	73,612	12	6,134		
Total	211,25	19			

▪ Para RAÍCES MÁS LARGAS:

Y RAÍCES MÁS LARGAS = 49,019

Y² RAÍCES MÁS LARGAS = 2.402,862

Tabla 9A. Análisis de varianza para RAÍCES MÁS LARGAS en Eucalyptus nitens.

Fuente de variación	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Media de cuadrados	F _{calculado}	F _{tabla}
Tratamiento	179,551	3	59,850	14,698	3,4903
Bloques	22,041	4	5,510	1,353	3,2592
Error	48,862	12	4,072		
Total	250,454	19	13,182		

De las tablas 8 y 9, se puede desprender que: al rechazar la hipótesis nula, se concluye que **existe diferencia significativa entre tratamientos**. Por el contrario al analizar qué ocurre entre bloques, en ambos casos se aprueba H_0 , luego **no existe evidencia de diferencias significativas entre bloques**.



APÉNDICE 6
RESULTADOS TEST DE TUKEY APLICADO A DATOS DE Eucalyptus
globulus OBTENIDOS EN ENSAYO DE PCR A DISTINTAS
TEMPERATURAS.



TEST DE TUKEY

$T_{0.05} = 5,201$ (RAÍCES NUEVAS) y $T_{0.05} = 4,238$ (RAÍCES MÁS LARGAS)

Tabla 10A. Valores obtenidos luego de aplicar el test de Tuckey en las variables: número de raíces nuevas y raíces más largas para Eucaliptus nitens.

Diferencia	Valor RAÍCES NUEVAS	Valor RAÍCES MÁS LARGAS
T1 - T2	0,4	0,064
T1 - T3	2,5	2,370
T1 - T4	5,7*	7,37*
T2 - T3	2,9	2,306
T2 - T4	6,1*	7,306*
T3 - T4	3,2	5*

Resumiendo:

▪ RAÍCES NUEVAS:

T1 - T4 - T2 - T3

▪ RAÍCES MÁS LARGAS

T1 - T4 - T2 - T3 - T4

Luego de aplicarse el test de Tukey, se obtuvo que **existen diferencias significativas entre los 5 y 22°C; entre los 12 y 22°C; y entre 17°C y 22°C.**



APÉNDICE 7

**TABLAS DE DATOS OBTENIDOS EN ENSAYO PCR DE NÚMERO DE RAÍCES
NUEVAS Y LONGITUD DE RAÍCES MÁS LARGAS PARA Eucalyptus
globulus.**



Tabla 11A. Datos de NÚMERO DE RAÍCES NUEVAS en Eucalyptus globulus con diseño por bloque al azar.

Trat. \ Bloq.	I	II	III	IV	V	SUMA	PROMEDIO
T1	3	1,4	3	6,2	5,2	18,8	3,76
T2	1,8	2,8	2,8	2,2	1,2	10,8	2,16
T3	2,8	1,8	4	6,6	8,2	23,4	4,68
T4	3	11,2	3,2	20	0,8	38,2	7,64
SUMA	10,6	17,2	13	35	15,4	91,2	

Tabla 12A. Datos de longitud RAÍCES MÁS LARGAS (cm) en Eucalyptus globulus con diseño por bloque al azar.

Trat. \ Bloq.	I	II	III	IV	V	SUMA	PROMEDIO
T1	0	0	0	0	0	0	0
T2	0,120	0,080	0,460	0,467	0	1,127	0,225
T3	1,093	0,300	1,573	3,647	3,440	10,053	2,011
T4	3,280	6,053	1,607	16,340	0,593	27,087	5,575
SUMA	4,493	6,433	3,64	20,454	4,033	39,053	

APÉNDICE 8

**ANÁLISIS DE VARIANZA DE RESULTADOS DEL ENSAYO DE PCR EN
PLANTAS DE Eucalyptus globulus.**



ANÁLISIS DE VARIANZA:

Se aplicó prueba de Fisher con un nivel de confianza del 95%

a : número de tratamientos = 4

b : número de bloques = 5

N : $4 \times 5 = 20$

▪ Para NÚMERO DE RAÍCES NUEVAS:

Y RAICES NUEVAS = 91,2

Y² RAICES NUEVAS = 8.317,44

Tabla 13A. Análisis de varianza para NÚMERO DE RAÍCES NUEVAS en Eucalyptus globulus

Fuente de variación	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Media de cuadrados	F _{calculado}	F _{tabla}
Tratamiento	79,504	3	26,501	1,555	3,4903
Bloques	93,968	4	23,492	1,378	3,2592
Error	204,496	12	17,041		
Total	377,968	19			

▪ Para RAÍCES MÁS LARGAS:

Y RAÍCES MÁS LARGAS = 39,053

Y² RAÍCES MÁS LARGAS = 1.525,137

Tabla 14A. Análisis de varianza para RAÍCES MÁS

LARGAS en Eucalyptus globulus

Fuente de variación	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Media de cuadrados	F _{calculado}	F _{tabla}
Tratamiento	99,59	3	33,197	3,327	3,4903
Bloques	51,106	4	12,777	1,28	3,2592
Error	119,718	12	9,977		
Total	270,414	19			

Luego de realizar el análisis de varianza respectivo se obtuvo lo siguiente: al analizar las tablas 13 y 14, y aprobar la hipótesis nula (H_0), se concluye que **no existe diferencia significativa entre tratamientos**. Y al analizar qué ocurre entre bloques, se aprueba H_0 , para ambos casos luego **no existe evidencia de diferencias significativas entre bloques**.



IX ANEXO

Tabla 1B. Esquemas de manejo radicular a que fueron sometidas plantas de Pinus radiata, producidas a raíz desnuda

FECHA	ACTIVIDAD
16/02/97	Poda lateral
10/04/97	Poda basal
25/04/97	Poda aérea

Tabla 2B. Esquemas de fertilización a que fueron sometidas plantas de Pinus radiata, producidas a raíz desnuda.

FECHA	PRODUCTO	DOSIS
18/11/96	Nitrato de calcio	100 Kg/ha
19/11/96	Sulfato de magnesio	60 Kg/ha
20/11/96	Ultrasol 52	40 Kg/ha
26/11/96	Ultrasol 52	25 Kg/ha
02/01/97	Ultrasol 52	12,5 Kg/ha
21/01/97	Ultrasol 52	100 Kg/ha
24/01/97	Sulfato de potasio	100 Kg/ha
29/01/97	Sulfato de magnesio	60 Kg/ha
31/01/97	Nitrato de calcio	100 Kg/ha
18/02/97	Sulfato de magnesio	60 Kg/ha
20/02/97	Nitrato de calcio	43 Kg/ha
25/02/97	Ultrasol 52	44 Kg/ha

Tabla 3B Esquemas de fertilización a que se sometieron plantas de Eucalyptus nitens, producidas en contenedores.

ETAPA DE FERTILIZACIÓN	FECHA		DÍAS EFECTIVOS	PRODUCTOS	CANTIDAD DIARIA (gr)
	INICIO	TÉRMINO			
FASE 1 : CRECIMIENTO INICIAL	10/01/97	10/02/97	10	Ultrasol multipropósito	40
				Ultrasol 11	158
				Ultrasol 61	21
				Nitrato de amonio	25
				Nitrato de calcio	50
FASE 2 : CRECIMIENTO RÁPIDO	12/02/97	13/03/97	28	Ultrasol multipropósito	63
				Ultrasol 11	112
				Ultrasol 61	20
				Nitrato de amonio	111
				Nitrato de calcio	77
FASE 3: CRECIMIENTO RESTRINGIDO	19/03/97	22/03/97	4	Ultrasol 46	56
				Nitrato de calcio	55
FASE 4: ENDURECIMIENTO	24/03/97	13/05/97	31	Ultrasol 61	5

Observaciones:

La fertilización es incorporada al riego.

CARACTERÍSTICAS DEL CULTIVO DE Eucalyptus globulus.

Siembra	5/10/96
Transplante	30/11/96
Poda basal	25/01/97
Poda vertical	20/02/97

Tabla 4B. Esquema de fertilización en producción de plantas de Eucalyptus globulus.

FECHA	PRODUCTO	DOSIS
5/11/96	Super fosfato triple	40 g/m ³ de compost
5/12/96	Sulfato de potasa Urea Super fosfato triple	10 kg / ha 30 kg / ha 20 kg / ha
5/01/97	Urea Super fosfato triple Sulfato de potasa	30 kg / ha 20 kg / ha 10 kg / ha
5/02/97	Urea Super fosfato triple Sulfato de potasa	30 kg / ha 20 kg / ha 20 kg / ha
5/03/97	Urea Super fosfato triple Sulfato de potasa	10 kg / ha 20 kg / ha 30 kg / ha
5/04/97	Super fosfato triple Sulfato de potasa	20 kg / ha 30 kg / ha

