

UNIVERSIDAD DE CONCEPCIÓN
FACULTAD DE CIENCIAS FORESTALES
DEPARTAMENTO DE SILVICULTURA



" POTENCIAL DE CRECIMIENTO RADICULAR DE PLANTAS DE
***Pinus radiata* D. Don CON DIFERENTE POTENCIAL HIDRICO "**



ISABEL MARGARITA PEÑA CUEVAS

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

CONCEPCIÓN - CHILE
1996

POTENCIAL DE CRECIMIENTO RADICULAR DE PLANTAS DE *Pinus radiata*

D. Don CON DIFERENTE POTENCIAL HÍDRICO

Profesor Asesor



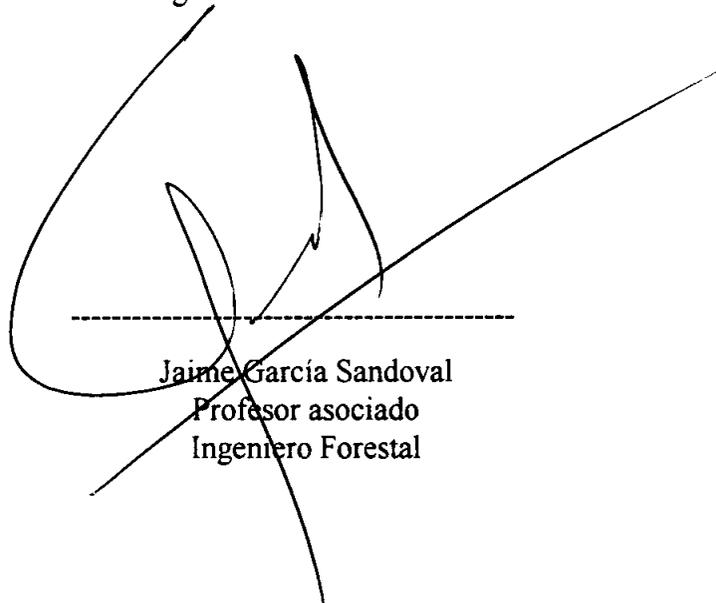
René Escobar Rodríguez
Profesor asociado
Técnico Forestal

Director Departamento Silvicultura



Miguel Espinosa Bancalari
Profesor asociado
Ingeniero Forestal Ph. D.

Decano Facultad de Ciencias Forestales



Jaime García Sandoval
Profesor asociado
Ingeniero Forestal

A MIS PADRES



Agradecimientos.

Mis más sinceros sentimientos de gratitud a todos aquellos que apoyaron directa o indirectamente, la ejecución de esta Memoria, en especial a:

- El profesor René Escobar Rodríguez, quien dirigió la investigación durante todas las diferentes etapas.
- El profesor Eduardo Peña Fernández, por sus aportes en la redacción del escrito.
- El señor José Álvarez Muñoz, Jefe del Departamento de Establecimiento de Plantaciones de Forestal Mininco S. A., por su constante apoyo y permanente estímulo.
- El señor Francisco Rodríguez, Jefe del Departamento de Producción de Plantas de Forestal Mininco S. A., por sus valiosos aportes.
- Todo el personal del Departamento de Producción de Plantas de Forestal Mininco S. A., por su excelente disposición y colaboración.
- La Empresa Forestal Mininco S. A., por el financiado otorgado.

ÍNDICE DE MATERIAS

CAPITULOS		PÁGINA
I	INTRODUCCIÓN.....	1
II	REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA.....	3
	2.1 Calidad de planta.....	3
	2.2 Estado hídrico vegetal.....	4
	2.2.1 Potencial hídrico.....	7
	2.2.2 Técnicas de medición.....	8
	2.2.3 Aplicaciones operacionales.....	11
	2.3 Potencial de crecimiento radicular.....	12
	2.3.1 ¿Cómo medir?.....	13
	2.3.2 ¿Cuándo medir?.....	14
	2.3.3 Duración del ensayo de PCR.....	15
	2.3.4 Tamaño de muestra en ensayo de PCR.....	16
	2.3.5 Medición de ensayo de PCR.....	16
	2.3.6 Aplicaciones operacionales del PCR.....	16
III	MATERIAL Y MÉTODOS.....	19
	3.1 Antecedentes generales.....	19
	3.2 Descripción del estudio.....	19

3.2.1	Descripción del ensayo.....	19
3.2.2	Medio de crecimiento.....	20
3.2.3	Diseño experimental y tratamientos.....	20
3.2.4	Determinación de Potencial Hídrico.....	21
3.2.5	Evaluación del ensayo.....	21
IV	RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	22
V	CONCLUSIONES.....	29
VI	RESUMEN.....	30
	SUMMARY.....	31
VII	BIBLIOGRAFÍA.....	32
VIII	APÉNDICES	



ÍNDICE DE TABLAS

TABLA N°		Pág.
<u>En el texto:</u>		
1	Tratamientos del ensayo de potencial de crecimiento radicular de plantas de <i>Pinus radiata</i>	21
2	Valores medios de supervivencia (%) y potencial de crecimiento radicular de plantas de <i>Pinus radiata</i> por tratamiento.....	22
3	Test de comparaciones múltiples por método Duncan.....	27
 <u>En el Apéndice:</u>		
4	Potencial de crecimiento radicular (n° raíces nuevas) de plantas de <i>Pinus radiata</i> .	
5	Distribución de parcelas y número de raíces nuevas en ensayo de potencial de crecimiento radicular.	
6	Tabla de medias de ensayo de potencial de crecimiento radicular de plantas de <i>Pinus radiata</i> con diferente potencial hídrico.	
7	Análisis de varianza ensayo de potencial de crecimiento radicular de plantas de <i>Pinus radiata</i> con diferente potencial hídrico.	



ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA N°	PÁGINA
<u>En el texto:</u>	
1 Diagrama Höfler. Relaciona potencial hídrico, osmótico y de turgencia.....	8
2 Procedimiento de medición de potencial hídrico con Cámara Scholander.....	10
3 Efecto del potencial hídrico (Mpa) sobre el potencial de crecimiento radicular (N° raíces nuevas) de <i>Pinus radiata</i> a raíz desnuda	24
4 Efecto del potencial hídrico (Mpa) en el porcentaje de supervivencia en la prueba de potencial de crecimiento radicular para <i>Pinus radiata</i> a raíz desnuda.....	25
5 Efecto del potencial hídrico (Mpa) sobre el rendimiento en potencial de crecimiento radicular y supervivencia de plantas de <i>Pinus radiata</i> a raíz desnuda.....	26

I. INTRODUCCIÓN

En plantaciones de tipo operacional la calidad de las plantas es evaluada principalmente por sus atributos morfológicos, debido a la simplicidad y bajo costo de su medición. Sin embargo, estas medidas son consideradas sólo descriptivas y no entregan información de la sensibilidad del stock a la manipulación y condiciones de stress. Además, si se considera que las tensiones más comunes a las que se ve sometido el stock durante la transferencia al sitio de plantación, tales como daño mecánico, calentamiento o pérdida de humedad, generalmente no afectan las características morfológicas, pero resultan en grave deterioro de la condición fisiológica.

A pesar de la aceptación general y amplio uso, los investigadores han notado que la morfología, por sí sola, no predice toda la variabilidad observada en supervivencia y crecimiento en terreno, pero puede ser de gran valor comparativo cuando el status fisiológico de las plantas es igual o similar (Thompson, 1985)

El estado hídrico ha sido sugerido como una prueba de calidad de planta al momento de la extracción (Joly, 1985; Lopushinsky, 1990). Se le considera una característica fisiológica altamente vulnerable (Harrington et al. 1991), debido a que una inadecuada o inoportuna manipulación del stock de plantación puede provocar un stress hídrico, el cual afectará negativamente muchos procesos fisiológicos de la planta.

Otra alternativa para evaluar la condición fisiológica del stock de plantación son las pruebas de comportamiento (Duryea, 1985; Chavasse, 1980; Ritchie, 1984). Una de ellas es la capacidad o potencial de crecimiento radicular, cuyo supuesto básico es que el establecimiento de una planta depende de la capacidad de producir un crecimiento radicular vigoroso (Ritchie y Tanaka, 1990). El potencial de crecimiento radicular (PCR), se define como la habilidad de una planta para generar y/o elongar raíces cuando es sometida a condiciones favorables al crecimiento radicular (Ritchie, 1985).

La presente investigación evalúa la capacidad o potencial de crecimiento radicular de plantas de *Pinus radiata* de distinta calidad fisiológica, determinada mediante mediciones de potencial hídrico que es considerado el método más satisfactorio para evaluar el estado hídrico vegetal.



II. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

2.1 Calidad de planta

La calidad de plantas ha sido definida por diversos autores, quienes coinciden en señalar que una planta de buena calidad es aquella que alcanza niveles definidos de supervivencia y crecimiento en un sitio forestal particular (Duryea, 1985).

Las características de las plantas que reflejan la calidad, son categorizadas como atributos del material o atributos del comportamiento (Ritchie, 1984). Se considera atributos del material cualquier característica que pueda ser observada o medida incluyendo morfología y fisiología de la planta. Pueden ser evaluados directamente, pero proporcionan generalmente poca información definitiva sobre la calidad de las plantas, a menos que el valor se encuentre notoriamente fuera de algún rango aceptable preestablecido.

Los atributos del comportamiento son evaluados midiendo la actividad de las plantas cuando son sometidas a condiciones específicas de prueba (Duryea, 1985; Munson, 1985). Estas evaluaciones predicen no sólo la supervivencia y el crecimiento, sino también el comportamiento de grupos específicos de plantas en sitios particulares (Duryea, 1985).

Ritchie (1984) describe los atributos del comportamiento como el potencial de crecimiento radicular, la resistencia al stress y la resistencia al frío. Ellos son lentos y engorrosos de cuantificar, pero entregan información definitiva sobre calidad de planta.

Raíces saludables, status nutricional adecuado y estado hídrico son indicadores fisiológicos esenciales en la supervivencia de una planta, que son utilizados para evaluar calidad de planta (N. Z. F. R. I., 1988).

2.2 Estado hídrico vegetal

La importancia del estado hídrico de las plantas ha sido reconocida por siglos, pero hasta hace poco tiempo sólo podía ser descrito en términos generales tales como marchito o no marchito (Kramer, 1983). El fenómeno de marchitez es un síntoma visible que se observa en plantas que están sometidas a un déficit hídrico acentuado, antes que éste se presente, la disminución del estado hídrico de los tejidos afecta a numerosos procesos fisiológicos.

El déficit hídrico puede provocar cierre estomatal, reducir la fotosíntesis, afectar los procesos de respiración y translocación, interrumpir el metabolismo de carbohidratos y proteínas, dañar las estructuras y membranas de las células o causar cambios en la actividad enzimática, además, aumentan la susceptibilidad a los ataques de patógenos e insectos (Lopushinsky, 1990). Virtualmente todos los aspectos del crecimiento de la planta son sensibles al déficit hídrico (Joly, 1985; Lopushinsky, 1990).

El déficit hídrico ocurre normalmente y llega a ser importante sólo cuando es lo suficientemente severo para afectar adversamente los procesos fisiológicos, el crecimiento o supervivencia. Para el caso del stock de viveros a raíz desnuda el déficit hídrico puede ocurrir en cualquier momento desde la extracción hasta la plantación como resultado de pérdidas de agua tanto por brotes y/o raíces (Lopushinsky, 1990).

La forma más simple para estimar el estado hídrico es la medición del contenido de agua de la planta. El método involucra la medición del peso fresco y peso seco, expresando el peso de la pérdida de agua como un porcentaje del peso seco. Sin embargo, el peso seco puede sufrir cambios, por tal razón surgen metodologías que expresan el contenido de agua como un porcentaje del peso de turgencia o saturado, tales como el Contenido Hídrico Relativo o el Déficit Hídrico (Lopushinsky, 1990). El procedimiento involucra pesar la muestra para obtener el peso fresco, llevar la muestra a turgencia plena y obtener peso túrgido, finalmente secar y obtener peso seco. Tanto el contenido hídrico relativo como el déficit hídrico suministran una correlación mejor con funciones fisiológicas (Lopushinsky, 1990). La principal desventaja para utilizar estos métodos con plantas de coníferas es llevar la muestra a turgencia plena (Ritchie, 1984).

Kramer (1983) establece las características que debería tener un método satisfactorio para monitorear el estado hídrico vegetal. Señala que en primer lugar, el grado de stress hídrico medido por el método debe tener una buena correlación con las tasas de los procesos fisiológicos de la planta, además debe tener significancia fisiológica para un

amplio rango de material vegetal. En segundo lugar, la unidad empleada para expresar el estado hídrico pueda ser aplicable a material vegetal, suelo y soluciones. Las mediciones deben requerir muestras pequeñas y deben ser simples, rápidas y de bajo costo.

Al considerar las características definidas anteriormente de un método para medir el estado hídrico vegetal se presentan tres opciones, estas son: la medición de potencial hídrico, potencial osmótico y contenido de agua relativo o déficit de saturación.

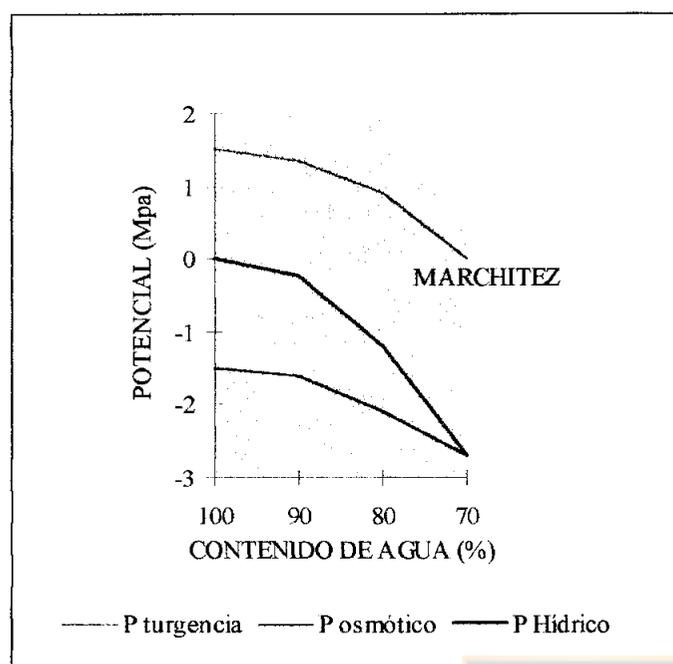
El potencial osmótico varía ampliamente con cambios en la concentración de solutos, por lo tanto tiene menos significancia fisiológica que el potencial hídrico. Se considera un método poco satisfactorio, además que no es un indicador del estado hídrico del suelo.

La medición de déficit de saturación hídrico es útil en relación a procesos controlados primariamente por turgor celular, sin embargo, al igual que el potencial osmótico no tiene la misma significancia fisiológica para diferentes tipos de plantas. Además, el estado hídrico medido en términos de contenido de agua relativo no puede ser correlacionado numéricamente a cualquier medición de estado hídrico del suelo.

El potencial hídrico es una medición de la energía libre del agua en un tejido vegetal, suelo o solución. Puede ser relacionado a la humedad atmosférica. El movimiento del agua a través de la planta y en el sistema suelo - planta - aire ocurre por gradiente de potencial hídrico.

2.2.1 Potencial hídrico. El potencial hídrico (ψ_h) se define termodinámicamente, como la capacidad del agua para realizar trabajo en comparación con el agua pura libre a una presión y temperatura estándar, cuyo potencial hídrico es cero (Mc Donald, 1984; Lopushinsky, 1990). Se expresa comúnmente en unidades de presión, bars o megapascales. Esta capacidad varía con las circunstancias físicas y fisicoquímicas, la temperatura del agua, la presión a la que está sometida, la presencia de alguna sustancia disuelta en ella y la atracción ejercida por superficies sobre sus moléculas (Lopushinsky, 1990).

Los componentes principales del potencial hídrico, es decir las fuerzas que lo determinan en la célula, se destacan los siguientes. En primer lugar el componente osmótico (ψ_o), debido a la presencia de sustancias disueltas en el protoplasto, es designado como potencial osmótico, esta inversamente relacionado al potencial hídrico. En segundo lugar el potencial de presión de turgor (ψ_t), debido a que el agua en el interior de la célula puede estar sometida a un exceso de presión hidrostática o presión de turgencia la cual incrementa el potencial hídrico (Turner, 1981). En una planta plenamente túrgida el potencial hídrico es cero y el potencial osmótico y de turgencia son equivalentes con signo opuesto. Del mismo modo cuando el potencial de turgencia es cero (punto de marchitez), el potencial hídrico y potencial osmótico se igualan, como se observa en el Diagrama de Höfler .



$$\Psi_h^{(-)} = \Psi_t^{(+)} + \Psi_o^{(-)}$$

Célula plenamente turgida:

$$(\Psi_h) = 0 \Rightarrow (\Psi_t) = -(\Psi_o)$$

Célula plenamente flácida:

$$(\Psi_t) = 0 \Rightarrow (\Psi_h) = (\Psi_o)$$

Figura 1 Diagrama Höfler. Relaciona potencial hídrico osmótico y de turgencia. (Fuente Ritchie, 1984, citado por Lopushinsky, 1990).

2.2.2 Técnicas de medición. El primer método utilizado para medir el potencial hídrico consistió en sumergir una muestra en una serie de soluciones de potenciales osmóticos conocidos, luego se medían los cambios de peso o de volumen de la muestra. Teóricamente el potencial osmótico al cual la muestra nunca gana ni pierde agua, es equivalente al potencial hídrico de la muestra (Kramer, 1983; Lopushinsky, 1990; Turner, 1981). Los métodos de equilibración son laboriosos, imprecisos y consumen mucho tiempo (Lopushinsky, 1990).

Los métodos sicrométricos presentan algunas ventajas, como la de realizar mediciones muy precisas del potencial hídrico foliar, las lecturas pueden ser realizadas con muestras

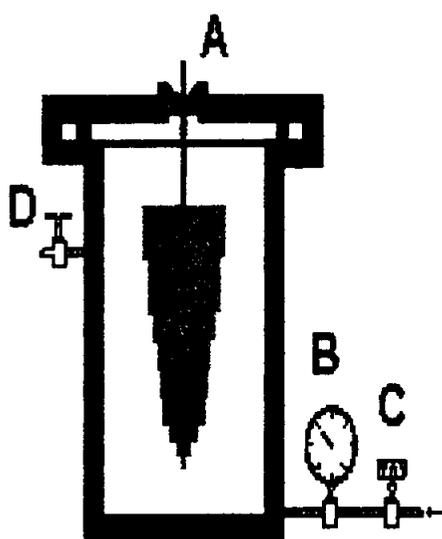
muy pequeñas. Permiten también la evaluación de los componentes osmótico y de turgencia del potencial hídrico (Kramer, 1983). El método ha sido muy exitoso en laboratorio, pero su uso en el campo es limitado principalmente debido a la sensibilidad a la temperatura y otras consideraciones técnicas (Lopushinsky, 1990; Turner, 1981).

La compresora foliar es una variación del método de la cámara de presión, es más rápida y más adecuada para tejido blando y elimina la necesidad de aire comprimido. La muestra se ubica sobre una goma blanda y se cubre con una lámina transparente, luego es sometida a presión hasta que el agua aparece en los bordes cortados de la muestra. En principio la presión necesaria para hacer fluir el agua se considera equivalente al potencial hídrico de la muestra (Lopushinsky, 1990).

El método de la cámara de presión descrito por Scholander et al. (1965), ha llegado a ser la técnica más ampliamente usada para medir el potencial hídrico de la planta (Lopushinsky, 1990). La muestra es ubicada dentro de la cámara dejando afuera el extremo cortado expuesto a la presión atmosférica, luego la presión dentro de la cámara es lentamente aumentada hasta que el agua en el xilema es forzada a salir por la superficie cortada (Ver Figura N° 2). La presunción general es que la presión positiva requerida para forzar el agua hacia la superficie cortada es igual a la presión negativa que existe en la ramilla entera antes de la excisión (Boyer, 1967; Kaufmann, 1968; Lopushinsky, 1990; Turner, 1981). Se le considera el método más apropiado para

monitorear estado hídrico vegetal en el campo ya que es rápida, simple y precisa (Lopushinsky, 1990; Mc Donald, 1984).

Algunas precauciones que se deben tener presentes para obtener resultados confiables con la cámara de presión, tales como, que las lecturas deben ser hechas rápidamente para evitar la desecación de la muestra, la remoción de follaje debe ser mínima, la presión debe ser aumentada a una tasa moderada. Por último, al observar el agua en la superficie cortada se debe tener cuidado de no confundir con la exudación de resinas (Kaufmann, 1968; Kramer, 1983; Lopushinsky, 1990). Al recolectar las muestras se debe tener presente la hora del día, la edad, ubicación y exposición (Kramer, 1983). Las mediciones deben ser hechas tan rápido como sea posible para evitar la desecación (Kaufmann, 1968; Kramer, 1983; Lopushinsky, 1990; Turner, 1981).



- A: Planta con extremo cortado inserta en una goma.
- B: Medidor de presión.
- C: Válvula de escape de gas.
- D: Válvula de entrada de gas.

Figura 2 Procedimiento de medición de potencial hídrico con Cámara Scholander

2.2.3 Aplicaciones operacionales. Debido a la naturaleza dinámica de las relaciones hídricas, es poco práctico especificar potenciales hídricos, es más útil utilizar pautas generales basadas en estudios anteriores que sugieran límites de stress que no deban ser excedidos. Landis et al. (1989), establecen pautas generales basadas en valores de potencial hídrico antes del amanecer, de acuerdo con estos autores, una regla general para plantas en contenedores es mantener el potencial hídrico sobre $-0,5$ Mpa y si no se desea reducir el crecimiento o inducir dormancia, el potencial hídrico no debe descender de $-1,0$ Mpa. Las mismas pautas se aplican para el crecimiento del stock a raíz desnuda en vivero.

Potenciales hídricos bajos durante la extracción de plantas pueden ocurrir debido a un bajo contenido de humedad en el suelo, suelos fríos o una demanda evaporativa alta (Lopushinsky, 1990). Algunos autores sugieren regar antes de la extracción en suelos con bajo contenido de humedad, efectuar las operaciones en horas frescas y evitar altas temperaturas, viento y déficit de presión de vapor (Balneaves y Menzies, 1988; 1990), de manera de evitar un stress excesivo sobre las plantas, que puede resultar en crecimiento reducido después de la plantación.

Existen diversas pautas de potencial hídrico para plantas en vivero a raíz desnuda durante la faena de extracción. Lopushinsky (1990) señala que potenciales hídricos mayores de $-2,0$ Mpa no afectan las plantas, siempre que estas sean humedecidas antes del almacenaje. N. Z. F. R. I. (1988) establece tres rangos de potencial hídrico para

plantas de *Pinus radiata* a raíz desnuda, señalando que: plantas con potenciales hídricos mayores de $-0,5$ Mpa, tendrán una condición saludable, entre $-0,5$ y $-1,0$ Mpa, las plantas alcanzan un rendimiento pobre en la plantación y bajo $-1,0$ Mpa es mejor destruir las plantas. Joly (1985) señala que pocos viveros extraen plantas cuando el potencial hídrico es menor de $-1,5$ Mpa.

Se debe tener presente que las relaciones hídricas son por naturaleza dinámicas y que una determinación de potencial hídrico, representa sólo la condición hídrica de la planta en el momento en que la medición es realizada y no suministra información sobre stresses hídricos anteriores (Lopushinsky, 1990).

2.3 Potencial de crecimiento radicular (PCR).

La capacidad de un sistema radicular para producir raíces nuevas después de la extracción y del replante en un medio controlado, es utilizada frecuentemente como una medida de la calidad de la planta (Ritchie y Dunlap, 1980). El ensayo de PCR es considerado uno de los métodos más confiables para evaluar viabilidad y vigor del stock de plantas, sin embargo, el principal inconveniente del método es la relativa larga duración del test (Ritchie y Tanaka, 1990).

El propósito del ensayo de PCR es detectar partidas de plantas incapaces de producir nuevas raíces en condiciones de desarrollo favorables. Los patrones de desarrollo de raíces pueden variar fuertemente dependiendo de la especie y el tipo de desarrollo de la

planta, por lo tanto los resultados de la prueba de potencial de crecimiento radicular son sólo comparables con plantas de la misma especie y desarrolladas bajo el mismo sistema.

2.3.1 ¿Cómo medir PCR? El primer paso en un ensayo de PCR es lavar y recortar el sistema radicular de manera de homogeneizar la muestra, luego las plantas son llevadas a un medio de crecimiento, cuya principal consideración es que posea buena capacidad de retención de agua y un buen drenaje. Se deben mantener condiciones ambientales tan uniformes como sea posible, ya que el potencial de crecimiento radicular es sensible a la temperatura, humedad y fotoperíodo (Ritchie, 1985; Ritchie y Tanaka, 1990).

El medio de crecimiento más frecuentemente usado son las mezclas de turba, perlita, y vermiculita, otros investigadores han utilizado con éxito un sistema hidropónico, así como también sistemas aeropónicos o de llovizna (Ritchie y Tanaka, 1990). Los tres sistemas son alternativas viables y se ha encontrado que el modelo de crecimiento radicular está estrechamente relacionado entre los tres sistemas (Ritchie y Tanaka, 1990).

Algunas ventajas que presenta un medio de crecimiento hidropónico o aeropónico, son el requerimiento de menor espacio, se evita la necesidad de suelo o mezclas, las condiciones de temperatura y humedad son mejor controladas y permanecen

aproximadamente constantes, no se dañan las raíces durante la extracción, facilita la medición y por último el crecimiento radicular puede ser observado durante el ensayo (Ritchie, 1984).

2.3.2 ¿Cuándo medir PCR?. El tiempo apropiado para medir PCR es inmediatamente antes que el stock sea plantado, debido a que está constantemente cambiando (Ritchie, 1984, citado por Munson, 1985; Ritchie y Tanaka, 1990). Existe una fuerte influencia estacional sobre el PCR de coníferas de climas templados fríos y boreales. (Stone y Norberg, 1979, citados por Donald, 1988; Ritchie y Dunlap, 1980). El PCR en la mayoría de las coníferas de climas fríos templados se incrementa desde valores bajos alcanzados a fines de verano y principios de otoño hasta un peak a mediados de invierno, cayendo nuevamente en primavera y el verano (Donald, 1988).

Donald (1988) ensayó durante 3 años, el efecto estacional sobre el potencial de crecimiento radicular (PCR) en plantas acondicionadas de *Pinus radiata*. Los resultados indicaron que aunque la especie crece activamente durante todo el año, existe una marcada fluctuación estacional en el PCR. Este alcanza un punto máximo entre comienzo y mediados de invierno, decayendo considerablemente en primavera, debido presumiblemente a la inherente floración de los brotes que provoca una reducción de los niveles hormonales en las raíces.

Balneaves (1987) evaluó el potencial hídrico y la capacidad de crecimiento radicular de plantas de *Pinus radiata*, las cuales fueron extraídas a intervalos de tiempo durante el invierno, y sus raíces fueron expuestas por 0, 30 y 60 minutos. Los resultados que él reportó indican que las plantas extraídas tempranamente en el invierno mostraron un máximo potencial de crecimiento radicular, y este decreció para todas las extracciones subsecuentes. La exposición de raíces afectó negativamente tanto el potencial hídrico como el potencial de crecimiento radicular subsecuente.

Para el presente estudio la época en que se efectuó el ensayo corresponde a fines de invierno principios de primavera. Se consideró este período para la evaluación debido a que las faenas de extracción de plantas, transporte a terreno y plantación se efectúan bajo condiciones ambientales más propicias para el stress hídrico que en invierno.

2.3.3 Duración del ensayo de PCR. Después de un mes en el ambiente de ensayo, las plantas son extraídas y se cuantifica la cantidad de crecimiento radicular que ha ocurrido. La duración del ensayo puede ser acortada a dos semanas, o incluso a una semana, para la mayoría de las especies de árboles, si los ensayos son conducidos bajo un ambiente óptimo para el desarrollo radicular (Ritchie y Tanaka, 1990).

Los estudios conducidos durante la década pasada han mostrado que acortando el período de ensayo a 14 o incluso 7 días , su resultado es confiable para varias especies incluyendo *Pinus radiata* (Donald, 1988).

2.3.4 Tamaño de la muestra en el ensayo de PCR. No existe un tamaño de muestra óptimo para todos los ensayos. El número depende de los objetivos, de las especies, de los tipos de stock, etc. La principal consideración es mantener la muestra tan pequeña como sea posible para minimizar los costos, pero manteniendo una muestra suficientemente grande para producir resultados significativos (Ritchie y Tanaka, 1990).

Ritchie (1984) afirma que 5 plantas por tratamiento son generalmente suficientes para otorgar comparaciones estadísticamente válidas.

2.3.5 Mediciones del ensayo de PCR. Una vez que el ensayo PCR ha sido completado, la próxima tarea es determinar la cantidad de crecimiento radicular ocurrida. El método más comúnmente utilizado es el conteo de raíces nuevas. Un segundo método es la medición de la longitud de las raíces. Generalmente estas dos mediciones están relacionadas en forma estrecha en todas las especies. Ritchie et al. (1990), en una revisión de potencial de crecimiento radicular, indican que la metodología de medición utilizada fue en el 84% de los casos, el número de raíces nuevas. En este caso particular, el método de medición utilizado fue el de número de raíces nuevas, dado el bajo crecimiento en longitud alcanzado.

2.3.6 Aplicaciones operacionales del PCR. El principal valor del potencial de crecimiento radicular, es su capacidad para caracterizar la calidad fisiológica de las plantas en un punto del tiempo (Ritchie y Tanaka, 1990). El PCR además, tiene algún

valor predictivo debido a que indica (a) cuándo las plantas son resistentes fisiológicamente y (b) cuándo las plantas están de alguna manera dañadas (Ritchie y Tanaka, 1990).

Si los resultados del ensayo de PCR caen dentro de algún rango "normal" para una especie dada en una época dada del año, es una buena evidencia de que no existe nada incorrecto, estructural o metabólicamente, con la planta. Por el contrario, si los valores de PCR caen bajo de lo conocido como "normal", se procede a realizar un nuevo ensayo. El ensayo de PCR no señala los tipos de problemas que podrían existir, pero sí señala que los problemas existen (Ritchie y Tanaka, 1990).

Ritchie y Dunlap (1980) en una revisión sobre la literatura publicada sobre esta técnica en un amplio rango de especies, notaron que "el potencial de crecimiento radicular y la supervivencia en el terreno están frecuentemente relacionados". Ritchie et al. (1990), examinaron la literatura publicada a partir de 1980 y encontrando que el 75% de los estudios mostraron una tendencia similar.

Sutton (1980) en un estudio de capacidad de crecimiento radicular y comportamiento en terreno de tres coníferas boreales, encontró una fuerte correlación positiva del potencial de crecimiento radicular y la tasa de supervivencia y el incremento en altura de las plantas sobrevivientes.

Landis y Skakel, (1988) señalan que los ensayos de potencial de crecimiento radicular no siempre han probado ser buenos predictores del rendimiento de la plantación bajo condiciones operacionales. Debido a la existencia de varios problemas tales como la colección y manipulación de la muestra, el medio de ensayo, el sistema de evaluación del crecimiento radicular, la especie y la ecuación de predicción. Por otra parte Simpson et al. (1988), afirman que la relación entre la supervivencia en terreno y el potencial de crecimiento radicular esta afectada mayormente por la especie y el año de plantación y muy poco por el sitio de plantación.



III. MATERIAL Y MÉTODOS

3.1 Antecedentes generales.

El estudio se realizó en el laboratorio de fisiología de árboles de la Facultad de Ciencias Forestales de la Universidad de Concepción, en Concepción. Las plantas fueron proporcionadas por Forestal Mininco S. A., desde el Vivero Colicheu, ubicado en la comuna de Cabrero. El sistema de producción de plantas es a raíz desnuda y la especie corresponde a *Pinus radiata* de la familia Colicheu 18.

3.2 Descripción del estudio.

El estudio consistió en el establecimiento de un ensayo de potencial de crecimiento radicular en laboratorio, para plantas de *Pinus radiata* a raíz desnuda con diferente condición hídrica.

3.2.1 Descripción del ensayo. El ensayo de potencial de crecimiento radicular fue establecido en el laboratorio con plantas extraídas a fines de la temporada de cosecha en vivero (Septiembre). Para evitar daños mecánicos y pérdidas de humedad de la muestra, la faena de extracción de plantas fue realizada en horas tempranas de la mañana, la platabanda fue previamente removida y el suelo se encontraba a capacidad de campo. Además para uniformar la muestra, sólo se extrajo plantas de diámetro de cuello de 5 a 6 mm y altura total de 30 a 35 cm. Finalizada la faena de extracción, las

plantas fueron inmediatamente empacadas en contenedores herméticos para ser trasladadas al laboratorio (Concepción).

En el laboratorio se procedió a lavar y recortar el sistema radicular, para luego realizar la primera determinación de potencial hídrico foliar ($\geq -0,5$ Mpa), e inmediatamente se instaló el primer tratamiento del ensayo. Las plantas restantes fueron esparcidas sobre los mesones del laboratorio de manera de inducir pérdidas de potencial hídrico.

3.2.2 Medio de crecimiento. El medio de crecimiento utilizado en el ensayo de potencial de crecimiento radicular corresponde a una cámara de crecimiento radicular con sistema aeropónico o de llovizna. La duración y frecuencia de los baños de agua atomizada o llovizna fueron de 10 segundos y 6 minutos, respectivamente. La temperatura dentro de la cámara fue mantenida a 20 °C. La sección aérea de las plantas estuvo sometidas a condiciones de humedad y temperatura del laboratorio, sólo se controló la duración del fotoperíodo y fue de 12 horas, para lo cual se instalaron dos tubos fluorescentes de 40 Watts ubicados a 50 cm sobre las plantas.

3.2.3 Diseño experimental y tratamientos. El diseño experimental utilizado corresponde a Diseño Completamente Aleatorizado, con 5 repeticiones para cada tratamiento. La unidad muestral o parcela está formada por 5 plantas. Los tratamientos corresponden a cuatro niveles de potencial hídrico y fueron establecidos en intervalos de

tiempo irregular de acuerdo al grado de stress hídrico que alcanzaba la muestra, para lo cual se consideraron los niveles que muestra la Tabla 1 :

TABLA 1 TRATAMIENTOS DE ENSAYO DE POTENCIAL DE CRECIMIENTO RADICULAR DE PLANTAS DE *Pinus radiata*

Tratamiento	Potencial Hídrico (Mpa)
1	$\geq -0,5$
2	$< -0,5$ y $\geq -1,0$
3	$< -1,0$ y $\geq -1,5$
4	$< -1,5$ y $\geq -2,0$

3.2.4 Determinación de Potencial Hídrico. Las determinaciones de potencial hídrico fueron realizadas con Cámara Scholander. El tamaño de la muestra utilizada en las mediciones fue de 10 plantas, con el cual se espera que el error de muestreo sea menor del 10% para un nivel de confianza del 95%, según los resultados del premuestreo realizado.

3.2.5 Evaluación del ensayo. Después de un mes en el ambiente de ensayo, las plantas fueron extraídas y se cuantificó el crecimiento radicular ocurrido. El método de evaluación corresponde al conteo de raíces nuevas.

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En la Tabla 2 se presentan los valores medios de potencial de crecimiento radicular, medido en número de raíces nuevas por planta, y mortalidad medida en porcentaje para cada tratamiento del ensayo.

TABLA 2 VALORES MEDIOS DE SUPERVIVENCIA (%) Y POTENCIAL DE CRECIMIENTO RADICULAR DE PLANTAS DE *Pinus radiata* PARA CADA TRATAMIENTO.

Tratamiento Potencial hídrico (Mpa)	Supervivencia (%)	PCR (Nº raíces nuevas)
< - 0,0 y ≥ - 0,5	96	39
< - 0,5 y ≥ - 1,0	88	29
< - 1,0 y ≥ - 1,5	84	22
< - 1,5 y ≥ - 2,0	84	18

De los valores de la Tabla 2 se desprende que:

Plantas de *Pinus radiata* a raíz desnuda, con valores de potencial hídrico mayores o iguales a -0,5 Mpa, determinado con cámara Scholander, alcanzan un potencial de crecimiento radicular promedio de 39 raíces nuevas, evaluado en cámara de crecimiento radicular, con una supervivencia del 96%.

Plantas de *Pinus radiata* a raíz desnuda, con valores de potencial hídrico menores de -0,5 y mayores o iguales a -1,0 Mpa, determinado con cámara Scholander, alcanzan un potencial de crecimiento radicular promedio de 29 raíces nuevas, evaluado en cámara de crecimiento radicular, con una supervivencia del 88%.

Plantas de *Pinus radiata* a raíz desnuda, con valores de potencial hídrico menores de -1,0 y mayores o iguales a -1,5 Mpa, determinado con cámara Scholander, alcanzan un potencial de crecimiento radicular promedio de 22 raíces nuevas, evaluado en cámara de crecimiento radicular, con una supervivencia del 84%.

Plantas de *Pinus radiata* a raíz desnuda, con valores de potencial hídrico menores de -1,5 y mayores o iguales a -2,0 Mpa, determinado con cámara Scholander, alcanzan un potencial de crecimiento radicular promedio de 18 raíces nuevas, evaluado en cámara de crecimiento radicular con una supervivencia del 84%.

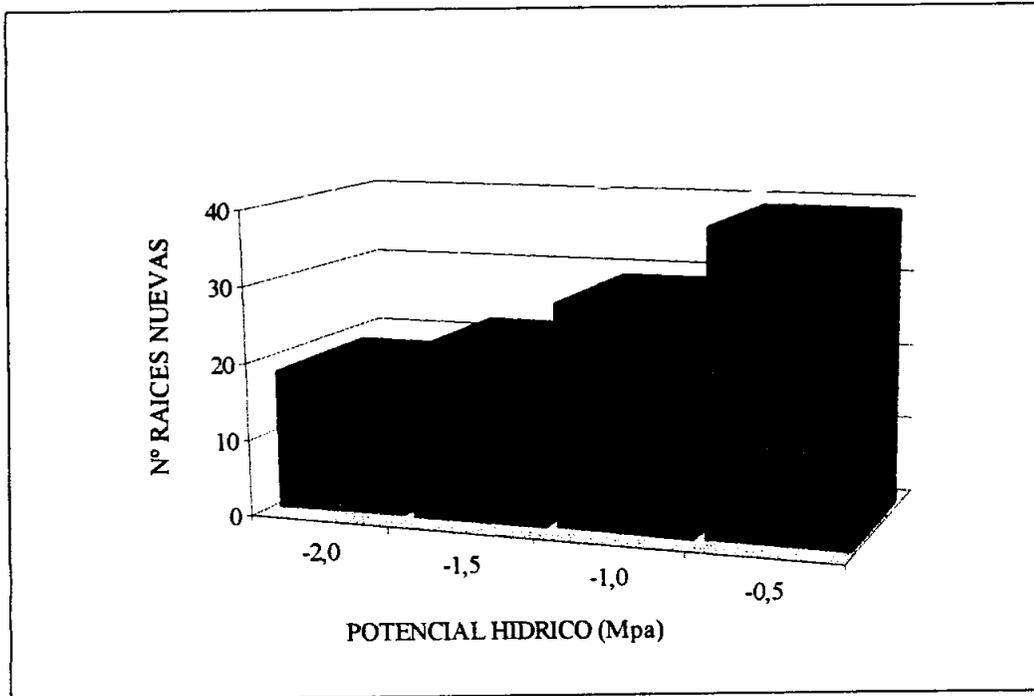


Figura 3 Efecto del potencial hídrico (Mpa) sobre el potencial de crecimiento radicular (N° raíces nuevas) de plantas de *Pinus radiata* a raíz desnuda.

En la Figura 3 se observa, que plantas con diferentes niveles de potencial hídrico se comportan de manera distinta en la prueba de potencial de crecimiento radicular. Así, las plantas logran mayor crecimiento radicular a medida que aumentan los niveles de potencial hídrico.

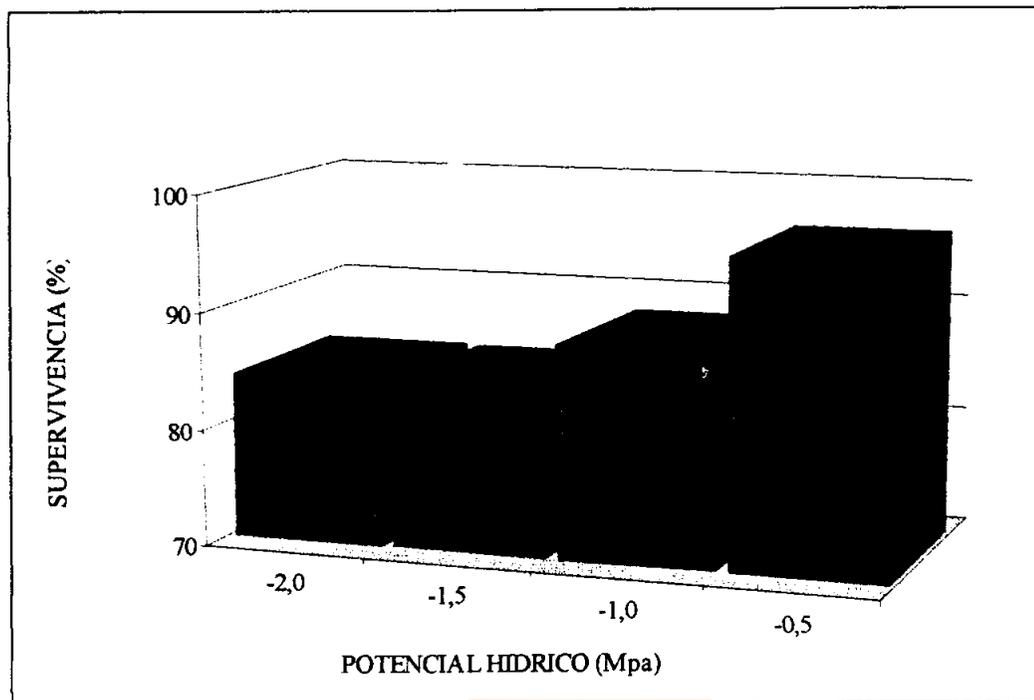


Figura 4 Efecto del potencial hídrico (Mpa) en el porcentaje de supervivencia en la prueba de potencial de crecimiento radicular para *Pinus radiata* a raíz desnuda.

En la Figura 4 se observa, que plantas de *Pinus radiata* con valores de potencial hídrico más alto alcanzan mayores niveles de supervivencia en la prueba de potencial de crecimiento radicular.

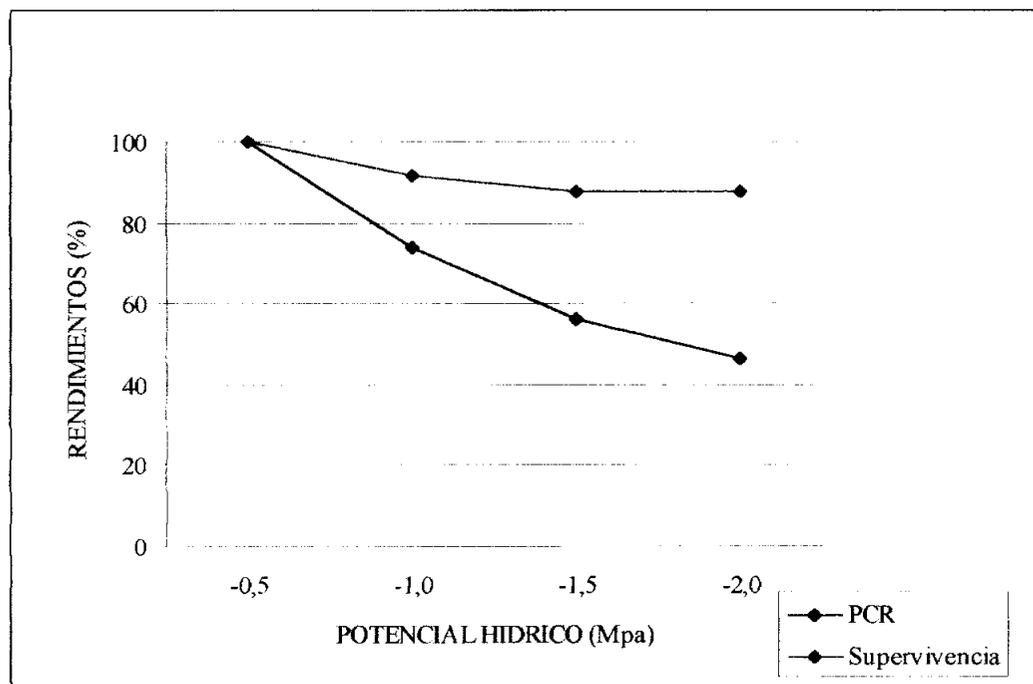


Figura 5 Efecto del potencial hídrico (Mpa) sobre el rendimiento de potencial de crecimiento radicular y supervivencia de plantas de *Pinus radiata* a raíz desnuda.

De la Figura 5 se desprende, que en la prueba de potencial de crecimiento radicular, las plantas de *Pinus radiata* con potencial hídrico sobre -0,5 Mpa logran el máximo potencial de crecimiento radicular y supervivencia. Luego, cuando el potencial hídrico decrece a valores hasta -1,0 Mpa, el potencial de crecimiento radicular disminuye en un 26% y la supervivencia en un 8%. Del mismo modo, cuando el potencial hídrico decrece hasta -1,5 Mpa, el potencial de crecimiento radicular decrece en un 44% y la supervivencia es 12% menor. Finalmente, cuando el potencial hídrico alcanza a -2,0

Mpa, el potencial de crecimiento radicular del *Pinus radiata* disminuye en un 54% y la supervivencia es 12% menor que en el mejor de los casos.

TABLA 3. TEST DE COMPARACIONES MÚLTIPLES POR MÉTODO DUNCAN

Comparaciones	Diferencias
1 - 2	10 *
1 - 3	17 *
1 - 4	20 *
2 - 3	7
2 - 4	10 *
3 - 4	4

* Difiere en forma significativa para P 0.05

De la Tabla 3 se desprende que:

Existen diferencias significativas en el potencial de crecimiento radicular de plantas de *Pinus radiata* con potenciales hídricos mayores o iguales que -0,5 Mpa (Tratamiento 1), con plantas con cualquier otro valor de potencial hídrico (Tratamiento 2, 3, 4).

Existen diferencias significativas en el potencial de crecimiento radicular de plantas de *Pinus radiata* con potenciales hídricos menores de -0,5 y mayores o iguales a -1,0 Mpa (Tratamiento 2), con plantas con valores de potencial hídrico menores de -1,5 y mayores o iguales a -2,0 Mpa (Tratamiento 4).

No existen diferencias significativas en el potencial de crecimiento radicular de plantas de *Pinus radiata* con potenciales hídricos menores de -0,5 y mayores o iguales a -1,0 Mpa (Tratamiento 2), respecto a plantas con valores de potencial hídrico menores de -1,0 y mayores o iguales a -1,5 Mpa (Tratamiento 3).

No existen diferencias significativas en el potencial de crecimiento radicular de plantas de *Pinus radiata* con potenciales hídricos menores de -1,0 y mayores o iguales a -1,5 Mpa (Tratamiento 3), respecto a plantas con valores de potencial hídrico menores de -1,5 y mayores o iguales a -2,0 Mpa (Tratamiento 4).

En base a los resultados arrojados por la prueba de potencial de crecimiento radicular de plantas de *Pinus radiata* con distintos niveles de stress hídrico, sería recomendable tomar todas las medidas técnica y económicamente factibles, para mantener el potencial hídrico del stock de plantación, lo más alto posible.

Monitorear los valores de potencial hídrico del stock de plantación durante las distintas faenas desde la extracción de plantas en vivero hasta el establecimiento en sitio definitivo, sería muy útil para evaluar posibles pérdidas de agua de las plantas.

Se desconocen los daños fisiológicos que pueden provocar diferentes niveles de stress hídricos en diferentes escalas de tiempo, en plantas en distintas etapas de desarrollo.

V. CONCLUSIONES

1.- El potencial hídrico afecta significativamente el potencial de crecimiento radicular de plantas de *Pinus radiata* a raíz desnuda. Bajo $-0,5$ Mpa existe un efecto negativo sobre el potencial de crecimiento radicular.

2.- Potenciales hídricos menores de $-0,5$ Mpa afectan negativamente la supervivencia de plantas en un ensayo de potencial de crecimiento radicular para *Pinus radiata* a raíz desnuda.



VI. RESUMEN

El documento reporta los resultados obtenidos en una prueba de potencial de crecimiento radicular de plantas de *Pinus radiata* a raíz desnuda con diferente potencial hídrico. Los resultados muestran que el potencial hídrico afecta significativamente al potencial de crecimiento radicular. Existe un efecto negativo en crecimiento y supervivencia de plantas cuyo potencial hídrico es menor de -0,5 Mpa. Se discuten los principios y procedimientos de pruebas de calidad de planta, tales como estado hídrico vegetal y potencial de crecimiento radicular.



SUMMARY

This article reports the results of a root growth potential test on *Pinus radiata* bareroot seedlings with four different water potential. The water potential affects significantly the root growth potential. Therefore, there is a negative effect on root growth and seedlings survival when water potential is lower than -0,5 Mpa. Seedlings quality test principles and procedures, such as, the vegetal water state and the root growth potential, are also discussed.



VII. BIBLIOGRAFÍA

- 1.- Balneaves, J. M. 1987. Root Growth Capacity of *Cupressus macrocarpa* and *Pinus radiata* seedlings. *New Zealand Forestry* 8: 24 - 25.
- 2.- Balneaves, J. M. and Menzies, M. I. 1988. Lifting and Handling Procedures at Edendale Nursery - Effects on Survival and Growth of 1/0 *Pinus radiata* Seedlings. *New Zealand Journal of Forestry Science* 18 (1): 132 - 134.
- 3.- Balneaves, J. M. and Menzies, M. I. 1990. Water Potential and Subsequent Growth of *Pinus radiata* Seedlings: Influence of Lifting, Packaging, and Storage Conditions. *New Zealand Journal Forestry Science* 20 (3): 257 - 267.
- 4.- Chavasse, C. G. R. 1980. Planting Stock Quality: A Review of Factors Affecting Performance. *New Zealand Journal of Forestry*. 25: 144 - 167.
- 5.- Donald, D. G. M. 1988. The effect of season on the root growth capacity of one year old *Pinus radiata* seedlings. *South African Forestry J.* 147: 6 - 8.
- 6.- Duryea, M. L. 1985. Evaluating Seedlings Quality: Importance to Reforestation, pp. 1 - 4. In: M. L. Duryea (Ed.) *Evaluating Seedling Quality: Principles,*

Procedures and Predictive Abilities of Major Test. Proc. of the Workshop, October 16-18, 1984, Oregon State University, Corvallis, Oregon, U. S. A.

- 7.- Harrington, J.; Fisher, J., and Mexal, J., 1991. Moisture Stress Acclimation Reduces Sensitivity of Containerized Eldarica Pine to Harsh Handling. In: Intermountain Forest Nursery Association Annual Meeting. New Mexico Agric. Exp. Sta. Scientific Paper N° 407
- 8.- Joly, R. J., 1985. Techniques for Determining Seedling Water Status and Their Affectiveness in Assessing Stress, pp. 17 - 28. In: M. L. Duryea (Ed.) Evaluating Seedlings Quality: Principles, Procedures and Predictive Abilities of Major Test. Proc. of the Workshop, October 16-18, 1984. Oregon State University, Corvallis, Oregon, USA
- 9.- Kaufmann M. R. 1968. Evaluation of the Pressure Chamber Technique for Estimating Plant Water Potential of Forest Tree Species. Forest Science 2 (4): 369 - 374
- 10.- Kramer, P. J., 1983. Water Relations of Plants. Academic Press, New York. 489 p.

- 11.- Landis, T. D.; Skakel, S. G., 1988. Root growth potential as an indicator of outplanting performance: Problems and perspectives, pp. 106 - 110. In: Proc. Combined Western Nursery Council. Forest Nursery Assn. Meeting, 1988 August 8 - 11, Vernon, British Columbia.
- 12.- Landis, T. D. 1989. Irrigation and water management, pp. 69 - 118. In: Landis, T. D.; Tinus, R. W.; Mc Donald, S. E.; Barnett, J. P. The Container Tree Nursery Manual, V 4. Agric. Handbook. 674. Washington, DC: U. S. Department of Agriculture, Forest Service.
- 13.- Lopushinsky, W. 1990. Seedling Moisture Status. pp. 123 - 138. In: Rose, R., Campbell, S. J. and Landis T. D. (Eds.) Target Seedling Symposium: Proceedings Combined Meeting of the Western Forest Nursery Associations. 13 - 17 August 1990. Roseburg, Oregon. USDA For. Serv. Rocky Mt. For. and Range Expt. Stn., Fort Collins, Colorado, Gen. Tech. Rep. RM - 200
- 14.- Mc Donald, S. E. 1984. Irrigation in Forest - Tree Nurseries: Monitoring and Effects on Seedling Growth, pp. 107 - 121. In: Duryea M. L. and Landis T. D. Forest Nursery Manual: Production of Bareroot Seedlings. Martinus Nijhoff/Dr W. Junk Publishers. The Hague Boston Lancaster, for Forest Research Laboratory. Oregon State University. Corvallis.

- 15.- Munson, K. R. 1985. Principles, Procedures, and Availability of Seedling Quality Test, pp. 71 - 77. In: Proc. Intermountain Nurseryman's Association Meeting. General Techn. Rep. RM-125. USDA Forest Service, Fort Collins, Colorado, USA
- 16.- 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.
- 17.- Ritchie, G. A.. 1984. Assessing Seedling Quality, pp. 243 - 259. In: M. L. Duryea and T. D. Landis (Ed.) Forest Nursery Manual: Production of Bareroot Seedlings: Martinus Nijhoff/Dr W. Junk Publishers. The Hague Boston Lancaster, for Forest Research Laboratory. Oregon State University. Corvallis.
- 18.- Ritchie, G. A.. 1985. Root Growth Potential: Principles, Procedures and Predictive Ability, pp. 93 - 105. In: M. L. Duryea (Ed.) Evaluating Seedlings Quality: Principles, Procedures and Predictive Abilities of Major Test. Proc. of the Workshop, October 16-18, 1984. Oregon State University, Corvallis, Oregon, USA

- 19.- Ritchie, G. A. and J. R. Dunlap. 1980. Root growth potential: its development and expression in forest tree seedlings. *New Zealand Journal of Forestry Science*. 10: 218 - 248.
- 20.- Ritchie, G. A. and Y. Tanaka. 1990. Root Growth Potential and the Target Seedling, pp. 37 - 51. In: Rose, R., Campbell, S. J. and Landis T. D. (Eds.) *Target Seedling Symposium: Proceedings Combined Meeting of the Western Forest Nursery Associations*. 13 - 17 August 1990. Roseburg, Oregon. USDA For. Serv. Rocky Mt. For. and Range Expt. Stn., Fort Collins, Colorado, Gen. Tech. Rep. RM - 200.
- 21.- Simpson, D. G., Vyse, A., and Thompson C. F. 1988. Root Growth Capacity Effects on Field Performance, pp. 119 - 121. In: *Proc. Combined Western Nursery Council. Forest Nursery Assn. Meeting; 1988 August 8 - 11, Vernon, British Columbia*.
- 22.- Sutton, R. F. 1980. Planting Stock Quality, Root Growth Capacity, and Field Performance of Three Boreal Conifers. *New Zealand Journal of Forestry Science* 10: 54 - 71.

23.- Thompson, B. E. 1985. Seedling Morphological Evaluation: What You Can Tell by Looking, pp. 59 - 71. In: Duryea (Ed.) Evaluating Seedling Quality: Principles, Procedures and Predictive Abilities of Major Test. Proc. of the Workshop, October 16-18, 1984, Oregon State University, Corvallis, Oregon, U. S. A.

24.- Turner, N. C. 1981. Techniques and experimental approaches for the measurement of plant water stress. *Plant Soil* 58: 339 - 366.



APÉNDICE 1

NÚMERO DE RAÍCES NUEVAS POR PLANTA PARA CADA TRATAMIENTO Y
REPETICIÓN EN ENSAYO DE POTENCIAL DE CRECIMIENTO RADICULAR DE
PLANTAS DE *Pinus radiata* CON DIFERENTE POTENCIAL HÍDRICO



TABLA 4 POTENCIAL DE CRECIMIENTO RADICULAR (N° RAÍCES NUEVAS) DE PLANTAS DE *Pinus radiata*

TRATAMIENTO (POTENCIAL HÍDRICO)	REPETICIÓN				
	1	2	3	4	5
< 0,0 y ≥ -0,5 Mpa	14	50	15	64	17
	28	54	24	55	18
	37	57	68	28	40
	32	0	79	18	56
	25	55	72	26	38
< -0,5 y ≥ -1,0 Mpa	48	43	53	0	29
	22	42	28	16	42
	46	32	48	62	39
	25	16	0	28	0
	17	8	21	19	35
< -1,0 y ≥ -1,5 Mpa	34	20	16	11	36
	26	35	22	12	28
	24	51	31	19	32
	0	22	43	14	0
	18	0	0	30	19
< -1,5 y ≥ -2,0 Mpa	10	16	0	26	12
	14	38	15	11	11
	26	22	18	48	8
	32	0	35	37	0
	18	18	17	0	18

APÉNDICE 2

DISTRIBUCIÓN DE LOS TRATAMIENTOS EN LA CÁMARA DE CRECIMIENTO
RADICULAR EN ENSAYO DE POTENCIAL DE CRECIMIENTO RADICULAR DE
PLANTAS DE *Pinus radiata* CON DIFERENTE POTENCIAL HÍDRICO



TABLA 5 DISTRIBUCIÓN DE PARCELAS Y NÚMERO DE RAÍCES NUEVAS EN ENSAYO DE POTENCIAL DE CRECIMIENTO RADICULAR

T 2 - 1	T 2 - 3	T 1 - 5	T 4 - 2	T 2 - 2	T 1 - 3	T 3 - 4	T 4 - 3	T 2 - 5	T 4 - 1
32	30	34	19	28	52	24	17	29	20
T 4 - 5	T 1 - 1	T 3 - 3	T 3 - 2	T 2 - 4	T 3 - 1	T 1 - 4	T 4 - 4	T 1 - 2	T 3 - 5
10	27	22	26	25	20	38	17	43	23

T X - Y : Tratamiento X - Repetición Y



APÉNDICE 3

TABLA DE MEDIAS Y ANÁLISIS DE VARIANZA DE ENSAYO DE POTENCIAL
DE CRECIMIENTO RADICULAR DE PLANTAS DE *Pinus radiata* CON
DIFERENTE POTENCIAL HÍDRICO



TABLA 6 TABLA DE MEDIAS DE ENSAYO DE POTENCIAL DE CRECIMIENTO RADICULAR DE PLANTAS DE *Pinus radiata* CON DIFERENTE POTENCIAL HÍDRICO

Tratamiento Potencial hídrico (Mpa)	PCR (N° raíces nuevas)	Desviación Estándar	Intervalo Confianza
< 0,0 y ≥ -0,5	39	9.3	33 - 44
< -0,5 y ≥ -1,0	29	2.5	23 - 34
< -1,0 y ≥ -1,5	22	3.1	16 - 27
< -1,5 y ≥ -2,0	18	5.3	12 - 23

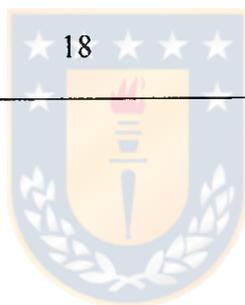


TABLA 7 ANÁLISIS DE VARIANZA ENSAYO DE POTENCIAL DE CRECIMIENTO RADICULAR DE PLANTAS DE *Pinus radiata* CON DIFERENTE POTENCIAL HÍDRICO

Fuente variación	Suma de cuadrados	g. l.	Cuad. medio error	F muestral	F crítico
Tratamientos	1262.4	3	420.8	12.637	.0002
Error	532.8	16	33.3		
Total	1795.2	19			

