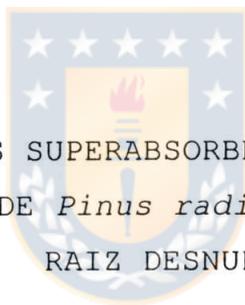


UNIVERSIDAD DE CONCEPCIÓN
FACULTAD DE CIENCIAS FORESTALES
Departamento Silvicultura



EFECTO DE DIFERENTES SUPERABSORBENTES SOBRE EL POTENCIAL
HIDRICO DE PLANTAS DE *Pinus radiata* D. Don PRODUCIDAS A
RAIZ DESNUDA

MEMORIA PARA OPTAR
AL TITULO DE
INGENIERO FORESTAL

CONCEPCION-CHILE

1999

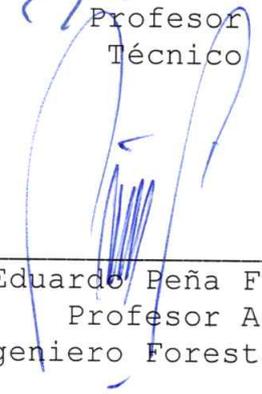
EFFECTO DE DIFERENTES SUPERABSORBENTES SOBRE EL POTENCIAL
HIDRICO DE PLANTAS DE *Pinus radiata* D. Don PRODUCIDAS A
RAIZ DESNUDA

Profesor Asesor



René Escobar Rodríguez
Profesor Asociado
Técnico Forestal

Profesor Asesor



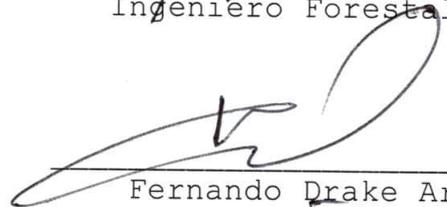
Eduardo Peña Fernández
Profesor Asistente
Ingeniero Forestal M Sc.

Director Departamento
Silvicultura



Manuel Sánchez Olate
Profesor Asistente
Ingeniero Forestal Dr.

Decano Facultad de Ciencias
Forestales



Fernando Drake Aranda
Profesor Asociado
Ingeniero Forestal

Calificación de la memoria de título:

René Escobar Rodríguez: 75 (setenta y cinco) puntos.

Eduardo Peña Fernández: 75 (setenta y cinco) puntos.

Agradecimientos

Mis mas sinceros agradecimientos y reconocimiento al Profesor René Escobar por la ayuda prestada durante la ejecución de la tesis y por el aporte del material de estudio.

Al profesor Eduardo Peña por su contribución en la interpretación de los resultados.

Al Servicio de Consultoría Estadística de la Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas, por facilitar el laboratorio de computación, con los software adecuados para llevar a feliz término el análisis. Del mismo modo, el reconocimiento al personal y profesores del Departamento de Estadística

Al profesor Manuel Caro, por su tiempo y valiosa ayuda en el procesamiento y análisis de los datos, sin la cual hubiese sido muy difícil concluir el trabajo.

A los auxiliares y laborantes de la Facultad de Ciencias Forestales por su ayuda durante la ejecución del ensayo.

A Cecilia y Maribel de Ingeniería Química, por su ayuda e información sobre los superabsorbentes.

A mis amigos y compañeros de carrera Kako, Marcelo, Carlos, Gonzalo, Conate por el apoyo permanente y ayuda durante la toma de datos.

Dedicatorias

Quiero dedicar este trabajo, a quienes siempre me han apoyado, en los difíciles momentos de mi vida y en todo lugar, mis padres Horacio Elías y Mirta Rosa, junto con mi hermana Javiera.

A la Güigua, por su comprensión y apoyo. A la Belcha por su vida llena de esfuerzo.

A mi Gran familia, cuya presencia ha guiado mis acciones durante el transcurso de mi vida.

A Leslie, cuya presencia me hizo notar que la vida es hermosa.

Y en especial, a mi amigo Rolando Ignacio, con quien compartí durante estos años jornadas de estudio, esparcimiento y también animadas discusiones, y quien, por el azar de la vida, vio truncado sus proyectos, sueños y alegrías.

INDICE DE MATERIAS

CAPITULOS		PAGINA
I	INTRODUCCIÓN	1
	1.1 Características y aplicación de los geles. . .	3
	1.2 Revisión histórica de experiencias similares	4
	1.3 Nociones sobre <i>Pinus radiata</i>	5
	1.4 Mediciones del estado hídrico de la planta. .	6
II	MATERIAL Y MÉTODO.	7
	2.1 Antecedentes generales.	7
	2.2 Descripción del estudio.	7
	2.3 Diseño experimental.	7
	2.4 Realización del experimento.	8
	2.4.1 Preparación del ensayo.	8
	2.4.2 Ensayo en campo.	10
	2.4.3 Inicio de mediciones.	11
	2.5 Evaluación de la calidad del gel.	11
	2.6 Nociones experimentales utilizadas.	12

CAPITULOS	PAGINA
III RESULTADOS Y DISCUSIÓN.13
3.1 Análisis descriptivo.	20
3.2 Análisis cuantitativo.	22
3.2.1 Comportamiento de los geles.	22
3.3 Análisis cualitativo.	24
IV CONCLUSIONES	26
V RESUMEN	27
SUMMARY	28
VI BIBLIOGRAFIA	29
VII APENDICE	33



INDICE DE TABLAS

Tabla N°	PAGINA
<u>En el texto</u>	
1 Granulometría de los superabsorbentes.	9
2 Descripción de los pesos y volúmenes para los tratamientos.	9
3 Estadísticos de datos originales.	20
4 Medias ajustadas del potencial hídrico para los distintos tratamientos.	23
5 Comportamiento cualitativo de los geles durante el ensayo.	24
<u>En el apéndice</u>	
1A Análisis de muestra de agua de Quillón.	33
2A Registro Inicio/Término de mediciones.	34
3A Test de Bartlett de homogeneidad de varianza. . .	36
4A Análisis de covarianza.	37
5A Análisis de varianza para las medias de los tratamientos (ANOVA).	38
6A Prueba de Tuckey para la raíz cúbica del potencial hídrico.	38

INDICE DE FIGURAS

Figura N°	PAGINA
<u>En el texto</u>	
1	Potencial hídrico gel A durante el ensayo. . . 13
2	Potencial hídrico gel B durante el ensayo. . . 14
3	Potencial hídrico gel C durante el ensayo. . . 15
4	Potencial hídrico gel D durante el ensayo. . . 16
5	Potencial hídrico gel E durante el ensayo. . . 17
6	Potencial hídrico gel F durante el ensayo. . . 18
7	Potencial hídrico del Testigo durante el ensayo. 19
8	Dispersión de los valores del potencial hídrico. 21
9	Intervalos de Bonferroni para los distintos geles. 23
<u>En el apéndice</u>	
1A	Histograma de residuos de la raíz cúbica del potencial hídrico. 35
2A	Gráfico de Probabilidad normal de residuos de el ANOVA. 35
3A	Gráfico de caja para el potencial hídrico según categorización por gel. 36
4A	Probabilidad normal para residuos del potencial hídrico en el modelo del ANCOVA. 37

I INTRODUCCIÓN

El rendimiento y calidad de las plantas producidas en vivero y trasladadas posteriormente al sitio de plantación, dependen, de manera esencial de la disponibilidad de agua durante sus primeros meses de crecimiento (Daniel *et al.*, 1982; Beadle *et al.*, 1985). Por esto, el suministro inadecuado de agua y nutrientes a las plantas, causado tanto por su escasez, como por la competencia con otras especies, se traduce en resultados perjudiciales para su crecimiento (Joly *et al.*, 1989; Kuhns *et al.*, 1993; Nambiar y Sands, 1994; Sanchez-Díaz y Aguirreolea, 1995).

Por lo tanto, durante el traslado de las plantas desde el vivero al sitio de plantación, se debe tener en cuenta, los factores que más influyen en la pérdida de agua en ellas, tales como la humedad atmosférica, concentración de CO₂ atmosférico, temperatura y velocidad del viento (Barceló *et al.*, 1995; Ramírez, 1999). Todo lo anterior, implica que las plantas puedan perder incluso hasta el 50% del agua interna, reduciendo la tasa de crecimiento y supervivencia (Escobar, 1994). Por esto, se deben tomar medidas preventivas, tales como el uso de las capas térmicas, citadas por Ramírez (1999). Junto con lo anterior, la reducción progresiva en los últimos años, de una de las principales fuentes de aporte directo de agua hacia los cultivos forestales, como son las lluvias, ha impulsado una serie de estudios tendientes a aprovechar de manera óptima el recurso hídrico, de manera tal que especies forestales, puedan desarrollarse y obtener los rendimientos esperados. Uno de estos estudios, es el que está desarrollando la Universidad de Concepción, en el marco del Proyecto FONDEF

D97 I-1062, denominado "Obtención de Superabsorbentes en Base a Monómeros Vinílicos Hidrofílicos y su Aplicación en Plantaciones Forestales y Cultivos Agrícolas Nacionales". Este proyecto, reúne el trabajo de numerosos investigadores, funcionarios y memoristas de distintas facultades de dicha casa de estudios, con el fin de aplicar en terreno los productos obtenidos y analizar su comportamiento.

Actualmente en la actividad forestal, para reducir la pérdida de agua en la planta y minimizar el *shock* de transplante, sus raíces son humectadas con geles durante el traslado de plantas desde el vivero a la plantación. Con ello, se espera mantener la tasa de supervivencia de las plántulas en el período de establecimiento. La principal causa del *shock* de transplante es el estrés hídrico; incluso plantas con un gran volumen radicular tienen síntomas de *shock*, bajo condiciones severas de sequía (Haase y Rose, 1993).

Siguiendo esta línea de trabajo, en el presente estudio, se evaluó el estado hídrico de plántulas de *Pinus radiata* D. Don a las cuales se les aplicó distintos tipos de superabsorbentes en el momento de su cosecha en vivero, con el fin de determinar el comportamiento cuantitativo (pérdida de agua) y cualitativo (adherencia a las raíces), que se provoca en las plantas. Los diferentes tipos de superabsorbentes a analizar (también llamados geles), fueron sintetizados y proporcionados el Departamento de Ingeniería Química de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de Concepción.

1.1 Características y aplicaciones de los geles

El desarrollo de absorbentes y de sustancias que retengan grandes cantidades de agua, se ha estudiado extensamente en los últimos años; dichos productos han encontrado una amplia aplicación en medicina y agricultura, entre otros campos (Vitta *et al.* , 1986).

Los superabsorbentes son redes de polímeros hidrofílicos entrecruzados con capacidad de absorber muchas veces su propio peso en agua; poseen un polímero principal, que le imparte características determinadas al gel, uniéndose a la vez con un agente enlazante, que une las moléculas de polímero principal para formar una red; puede decirse que son como pequeñas esponjas que succionan y retienen un solvente (Beltrán y Coca, 1993; Cid, 1994; Marx, 1996).

En la actualidad, muchos tipos de superabsorbentes han sido preparados sobre la base de polímeros sintéticos o naturales, mediante el injerto de copolímeros, tales como el ácido acrílico y la acrilamida, siendo estos últimos, altamente convenientes como estructuras de retención de agua (Vitta *et al.*, 1986; Yoshinobu *et al.*, 1994; Vargas, 1994). Se ha señalado, que la capacidad de absorción de agua se la da el ácido acrílico, mientras que la consistencia del gel la proporciona la acrilamida (Cid, 1994).

La proporción de los monómeros en la síntesis del gel, entrega información acerca de sus propiedades; si la concentración de acrilamida es mayor a la de ácido acrílico, la capacidad de absorción de agua disminuye (la relación inversa es válida); esta capacidad también baja,

si se mantienen las razones molares entre monómeros, pero se aumenta la concentración total de ellos en la síntesis. Además, la tasa de absorción de los superabsorbentes, es dependiente de la calidad del agua; es decir, mientras más duras o carbonatadas sean las aguas, mas baja es la absorción.

1.2 Revisión histórica de experiencias similares

En las últimas décadas, distintos tipos de agentes protectores, se han aplicado en las raíces de las plántulas de coníferas, para la prevención del estrés provocado por el almacenamiento y el posterior proceso de plantación (Sloan, 1994). Dunsworth (1985), cubrió las raíces de plántulas 2+0 de *Pseudotsuga menziesii*, con un producto químico, pero no encontró diferencias significativas en la supervivencia o en el incremento en altura, comparadas con un testigo, al término de un ensayo de 3 años; sin embargo, señala que al comienzo de éste, hubo una tendencia en las variables hacia la supervivencia, la que no fue persistente. Miller et al. (1974), aplicaron una solución gelatinosa higroscópica (β -D-manuropiranososa al 1%), sobre las raíces de plántulas de *Pinus taeda*, encontrando que, solo bajo condiciones de moderado estrés, se ayudaba a la supervivencia. Echols et al. (1990) señalan que la mayor supervivencia de plántulas a raíz desnuda de *Pinus taeda* y *P. echinata*, cuyas raíces fueron sumergidas en un superabsorbente (en comparación a otros tratamientos), se debió principalmente a las condiciones del sitio en donde se plantaron; con ello la efectividad de los geles baja con la severidad y duración de la sequía en el sitio. Sin embargo, Hicks (1992), recomienda el uso de superabsorbentes en plántulas producidas a raíz desnuda que

se vayan a establecer en terrenos secos y arcillosos. Sloan (1994), cita numerosos ensayos en los que se muestra que, cuando las plántulas no han sido intencionalmente expuestas al sol o viento, el sumergir las raíces en sustancias protectoras no incrementa la supervivencia, señalando que estos no son necesarios si el sistema radical de la planta, esta bien protegido, coincidiendo con Stjernberg (1997). Sin embargo, le asigna un importante papel a los superabsorbentes, al incorporarles hormonas de crecimiento y otras sustancias para la planta.

Otro tipo de sustancia disponible en el mercado internacional, tendiente a prevenir el estrés hídrico de la planta, son los antitranspirantes, definidos como toda sustancia que provoca un cierre de los estomas, reduciendo con ello la pérdida de agua sin impedir completamente el intercambio de dióxido de carbono y oxígeno (Harmann et al., 1981; Rietveld y Heidman, 1969, citados por Williams et al., 1990; Nautiyal et al. 1998). El uso de estas sustancias ha tenido efectos negativos y tóxicos sobre algunas especies de plantas, según las condiciones en que se apliquen (Davies y Kozlowski, 1974, citados por Williams et al. , 1990).

1.3 Nociones sobre *Pinus radiata*

Kaufmann (1977) registra que en *Pinus radiata* el estrés hídrico afecta tanto el crecimiento de la raíz como el de los brotes; agrega que bajas temperaturas y sequedad del suelo también reducen el crecimiento. Peña (1996), trabajando con plántulas de *Pinus radiata* a raíz desnuda, encontró que el potencial hídrico afecta significativamente el potencial de crecimiento radicular, existiendo un efecto

negativo sobre él, así como también sobre la supervivencia, bajo los -0.5 MPa, que es nivel crítico. Sands y Mulligan (1990), en plántulas de *Pinus radiata* de 2 años apuntan que frente a un gran déficit hídrico, la fotosíntesis y otros procesos son directamente afectados y la asimilación también es reducida, debido al cierre de los estomas.

1.4. Medición del estado hídrico de la planta

La manera mas aceptada y común para describir las relaciones hídricas de las plantas es el potencial hídrico (ψ), ya que permite determinar el sentido de los intercambios hídricos entre las diferentes partes de una planta y, entre ella y el suelo (Sánchez-Díaz y Aguirreolea, 1995). Sin embargo, Sinclair y Ludlow (citados por Sands y Mulligan, 1990), sugieren que los cambios en volumen celular y en el contenido relativo de agua son mas apropiados para describir los procesos fisiológicos que afectan el crecimiento.

El potencial hídrico de una planta, consta de dos componentes: potencial osmótico (π), que es una medida de la presencia de sustancias disueltas en el interior de la célula. El otro componente es la presión de turgor, P, que expresa la presión ejercida sobre la célula por sus paredes (Beadle et al., 1985).

De esta forma se puede expresar el potencial hídrico como:

$$\psi = \pi + P$$

Puede notarse que π siempre es negativo, mientras que P es siempre positivo o cero.

II MATERIAL Y MÉTODO

2.1 Antecedentes Generales

El estudio se llevó a cabo en el laboratorio de Fisiología de Arboles de la Facultad de Ciencias Forestales de la Universidad de Concepción. Las plantas utilizadas fueron producidas por semilla, a raíz desnuda, en el vivero "Los Quillayes", comuna de Quillón, ubicado aproximadamente a 60 Km de Concepción.

2.2 Descripción de estudio

Se desarrolló un ensayo tendiente a evaluar la influencia de distintos tipos de superabsorbentes sobre el potencial hídrico de plantas de *Pinus radiata*, cosechadas en el mismo período. El objetivo fue determinar a través de un análisis cualitativo y cuantitativo, cual o cuales geles superabsorbentes presentaron mejor comportamiento, en términos de mantener un bajo potencial hídrico en términos absolutos (buen estado hídrico de la planta) y de adherencia del gel a las raíces. El estudio se realizó durante cinco días, en los cuales se procedió al registro de los valores medidos en los seis distintos tipos de geles y un control (sin aplicación de gel).

2.3 Diseño Experimental

Una vez que se determinaron las variables a evaluar, se consideró que existían dos posibilidades en el análisis posterior de los datos. En primer lugar, estaba el efecto secuencial del tiempo sobre las mediciones del potencial hídrico, ψ (variable respuesta). Para ello, junto con registrar ψ , se llevó la contabilidad de la variable

tiempo, asignándola como covariable. De este modo, si el análisis de covarianza (ANCOVA), determinaba la influencia del tiempo secuencial, se utilizaría un modelo de regresión múltiple, en el cual estarían presentes las interacciones entre el tiempo secuencial y los efectos de los geles sobre el potencial hídrico.

En segundo lugar, si el ANCOVA determinaba que no existía un efecto de la covariable, se utilizaría un diseño completamente aleatorio, en que los tratamientos son los geles (junto al testigo). Hay que hacer notar que los resultados del ANCOVA, obtenidos con el software Stat Most, entregan directamente si existe diferencia significativa o no, entre las medias de los tratamientos involucrados. El tamaño de muestra previo fue definido en torno a experimentos anteriores, en donde se esperaba como máximo un error de muestreo menor al 10% (Peña, 1996).

2.4 Realización del experimento

Después de tener presente, las alternativas en el análisis posterior de los datos, se inició formalmente el experimento y se procedió como se indica a continuación.

2.4.1 Preparación del ensayo. Para la investigación, se utilizaron 12 geles distintos, sintetizados de diversas formas y un gel de una marca comercial. Ante ello, se procedió a formar distintas mezclas de igual concentración (2 gramos por litro de agua, escogida por consideraciones empíricas). Posteriormente fueron descartadas algunas de estas mezclas que presentaban similar comportamiento, referido tanto a la adherencia al tacto como a su estado de agregación observado. Al final de esta prueba, fueron

escogidos seis de los polímeros para el estudio (dentro de ellos la marca comercial), cuyos aspectos visuales y de adherencia eran diferentes. Estos presentaban la siguiente granulometría (dada por la norma estándar ASTM E11-70) y composición en la solución:

Tabla 1. Granulometría de los superabsorbentes.

GEL	NUMERO DE MUESTRA	AMPLITUD (μm)
A	45	425-850
B	102	150-300
C	102	850-2000
D	102	300-425
E	102	425-850
F	Alcosorb	200 (52.5%), 100 (29%), 80 (6.5%)

Tabla 2. Descripción de los pesos y volúmenes para los tratamientos.

GEL	NOMENCLATURA	PESO (g)	VOLUMEN USADO (l)
A	Bajo 20M sobre 40M	9.6	4.8
B	Bajo 50M sobre 100M	9.0	4.5
C	Bajo 10M sobre 20M	8.4	4.2
D	Bajo 40M sobre 50M	9.0	4.5
E	Bajo 20M sobre 40M	10.2	5.1
F	Alcorsorb	9.6	4.8

La nomenclatura con que se entregaron los geles, indicaba el intervalo entre el cual se encontraban las mallas de los tamices donde quedaban retenidas las partículas del

polímero. Al iniciar el ensayo sólo se conocía la nomenclatura mostrada anteriormente.

La muestra comercial de Alcorsorb estaba constituida por una mezcla de diferentes granulometrías, detallada en la tabla 1. Las muestras catalogadas 45 y 102, con la misma granulometría (425-850 μm), fueron sintetizadas con distinta razón molar de entrecruzador (N, N metilenbisacrilamida), volumen de iniciador (trisoxalato), neutralizante (KOH y NaOH respectivamente) y razón molar de ácido acrílico. La razón de entrecruzamiento (R.E), se define como los moles del entrecruzador dividido por la suma de moles de ácido acrílico y acrilamida. Es decir:

$$\text{R.E.} = \frac{\text{moles entrecruzador}}{\text{moles ác. Acrílico} + \text{acrilamida}}$$

Posteriormente, se observó si esta razón tenía influencia sobre la variable respuesta.

2.4.2 Ensayo en campo. En el vivero, se procedió a preparar las soluciones especificadas, con los geles seleccionados. Para esto, se utilizó agua de riego del vivero. Estas soluciones permanecieron guardadas en una bodega contigua, a temperatura ambiente, por espacio de 20 horas aproximadamente.

Al día siguiente, temprano en la mañana, se recolectaron las plántulas de *Pinus radiata* que conformarían las muestras del estudio. Estas fueron distribuidas en cajas de embalaje (aproximadamente 150 por caja), las que se

sortearon posteriormente para la aplicación de las diferentes mezclas.

La forma de aplicar la solución sobre las raíces, consistió en que por cada caja que contenía plantas, se extraían tres fardos de ellas, sobre las cuales se esparcía secuencialmente la mezcla formada. Es decir, el primer fardo (que quedaba al final de la caja) se le derramaba el gel hidratado. Luego se tomaba el segundo fardo, haciéndose lo mismo y se finalizó de idéntica forma con la tercera capa, la cual queda en el tercio superior de la caja.

2.4.3 Inicio de mediciones. Posterior a la aplicación de la solución a cada tratamiento, las plantas fueron transportadas en cajas de almacenaje al laboratorio.

Aproximadamente cuatro horas después de la aplicación de la solución, se procedió a medir el potencial hídrico de los ápices de las plantas con una cámara de presión Schölander, marca Eijkelkamp, con una precisión de 0.1 bar. El orden de mediciones fue al azar, dentro de cada tratamiento. Se comenzó midiendo de forma continua, comenzando con el testigo (generalmente 30 valores por día y tratamiento), siguiendo con el gel C, E, D, B, A y finalizando la tanda con el gel F. Este orden aleatorio, tomado al principio, se mantuvo durante los siguientes días. Se reafirma que por cada medición de la variable respuesta, se midió el tiempo secuencial simultáneamente.

2.5 Evaluación de la calidad del gel

Del mismo modo, se consideró un análisis cualitativo referido a la adherencia de los geles en las raíces de las

plantas. Este análisis fue básicamente de apreciación. Para ello, se catalogó como una buena adherencia, cuando el gel cubre en forma homogénea las raíces de las plántulas, aunque algunas de ellas (las menos), no tengan el sistema radicular totalmente cubierto, al final de un día cualquiera de medición.

Si el gel ha escurrido parcialmente, o no se nota que cubre la casi totalidad de las raíces, se le clasifica como regular y si no se cubre la mayoría de las raíces se le cataloga como mala.

2.6 Nociones experimentales utilizadas

La muestra consiste en un corte recto del ápice de la planta. Se coloca dentro de la cámara, dejando fuera el extremo cortado expuesto a la presión atmosférica (Peña, 1996). Luego se aplica presión lentamente a la cámara desde un balón de gas nitrógeno, observando la superficie cortada de la muestra. Esta presión del gas obliga a la columna de agua, dentro del cilindro cortado, retornar a su posición original. Con ello, la superficie de corte se humedece, por lo que la presión aplicada es igual al estrés hídrico interno de la muestra.

III RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El comportamiento del potencial hídrico en el transcurso de los días de medición, para cada gel, puede verse en las figuras 1 a la 7.

La figura 1 muestra el comportamiento del gel A. El primer día de medición, la tendencia de los valores observados del potencial hídrico es menor, respecto al segundo día, el cual presenta además, una mayor dispersión de la variable respuesta. El tercer día similar al primero, pero con más puntos atípicos. Puede apreciarse que el grupo de datos correspondientes a las 80 horas (día 4), se encuentra fluctuando en un amplio rango. El último día de medición (casi las 100 horas), se aprecia una baja de la dispersión y del potencial hídrico, lo cual probablemente se deba, a que las últimas plantas tomadas al azar, para medirlas en la cámara Schölander, se ubicaban en el fondo de la caja, con una mayor cantidad de gel entre sus raíces, producto del normal escurrimiento de éste, debido a la gravedad.

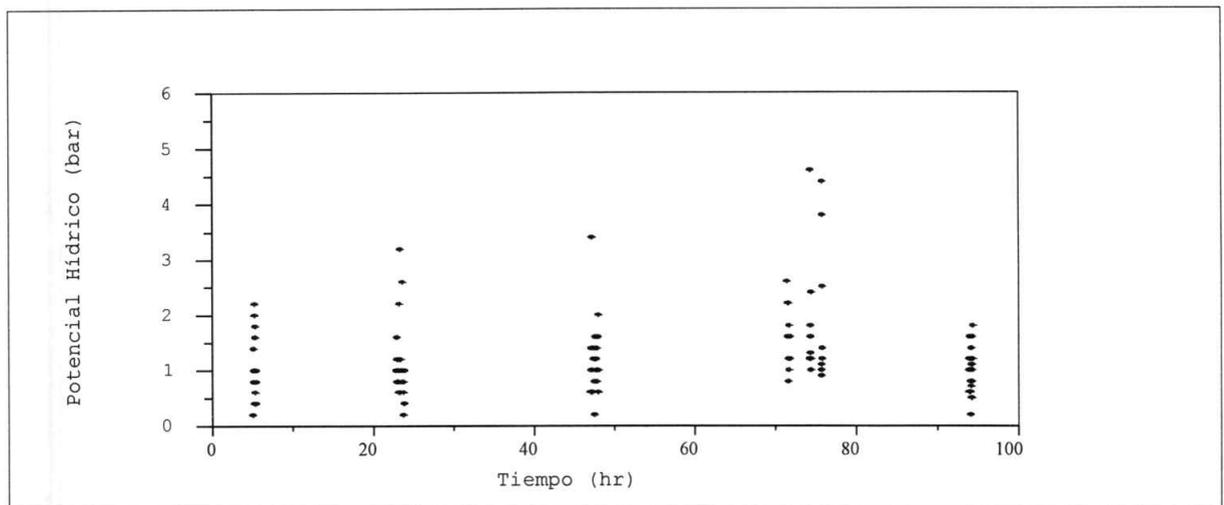


Figura 1. Potencial Hídrico Gel A durante el ensayo.

La figura 2 nos informa sobre el gel B. En este caso, la mayor dispersión de los valores, está el último día de medición. El primer día se observa una tendencia baja del potencial hídrico, al igual que el cuarto día. El día 2 existe una gran dispersión de los datos y en términos absolutos, se encuentran potenciales hídricos mucho menores que el día anterior. Se ve también, una tendencia a estabilización de la variable respuesta, con el correr de las horas hasta el final, aunque el último día existen algunos valores atípicos, registrándose respuestas del potencial muy altas. Puede explicarse, por la elección al azar de las plantas de la caja, resultando en algún momento elegida alguna que presentaba poca cantidad de gel entre sus raíces y en otro instante alguna planta que estuviese en el fondo de la caja, con gran cantidad de superabsorbente, lo que le daba gran hidratación.

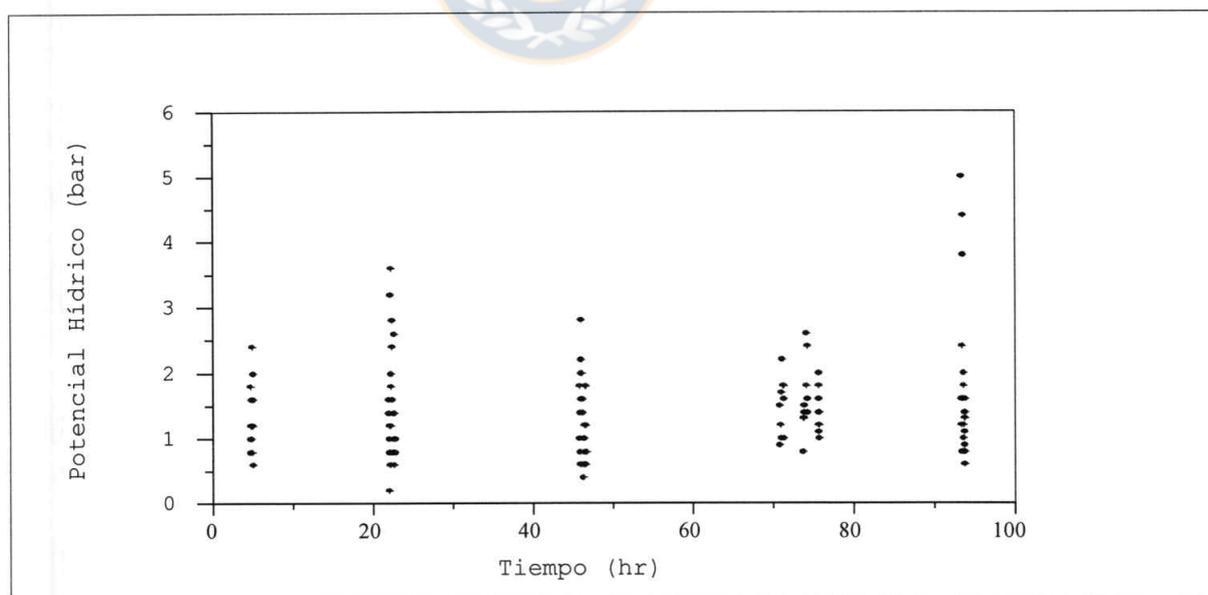


Figura 2. Potencial Hídrico Gel B durante el ensayo.

La figura 3 muestra el comportamiento del gel C. El primer día los valores del potencial no presentan gran dispersión. El segundo día aparecen valores más altos del potencial hídrico, con mayor dispersión. Existe una leve tendencia a la baja de la variable respuesta el tercer día y una menor dispersión que el día anterior, registrándose, en términos absolutos, los valores más bajos, durante todo el ensayo, para el tratamiento. Hay una gran dispersión de los datos cerca de las 80 horas (cuarto día) y la presencia de puntos atípicos, que a pesar de ellos, se logra una estabilización de los valores. Se manifiesta una tendencia similar al comportamiento del gel A. Los valores del último día son aparentemente similares al del primero, excepto que los valores atípicos son más perceptibles. La explicación, como en todos los casos, debiera ser la aleatoriedad de las extracciones de las plantas.

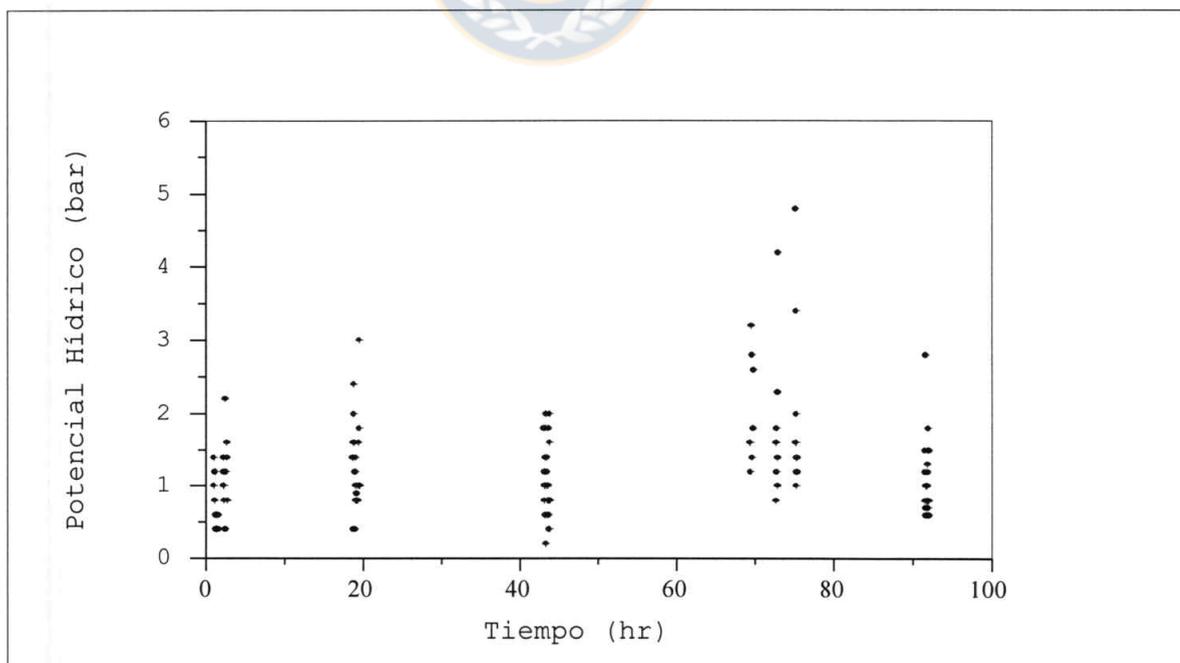


Figura 3. Potencial Hídrico Gel C durante el ensayo.

La figura 4 muestra al gel D. El primer día, existe la menor dispersión de los valores observados. Se nota una leve tendencia al aumento del potencial hídrico cerca de las 20 horas de medición (segundo día) junto a una mayor dispersión en las mediciones registradas. Este día se alcanzan los valores más altos del potencial hídrico. El tercer día aparecen observaciones mas bajas, en términos absolutos, que los días precedentes, pero también valores atípicos. La dispersión baja levemente en los siguientes días de medición, estabilizándose la tendencia del potencial. El día cinco, la tendencia de los valores es incluso menor que el primer día, debido quizá, a las razones de adherencia del gel en las raíces y el secuenial escurrimiento hacia el fondo de la caja, desde donde se sacaron las plantas al azar, estando las del último día, con mayor cantidad de gel entre sus raíces, que las elegidas en los primeros días.

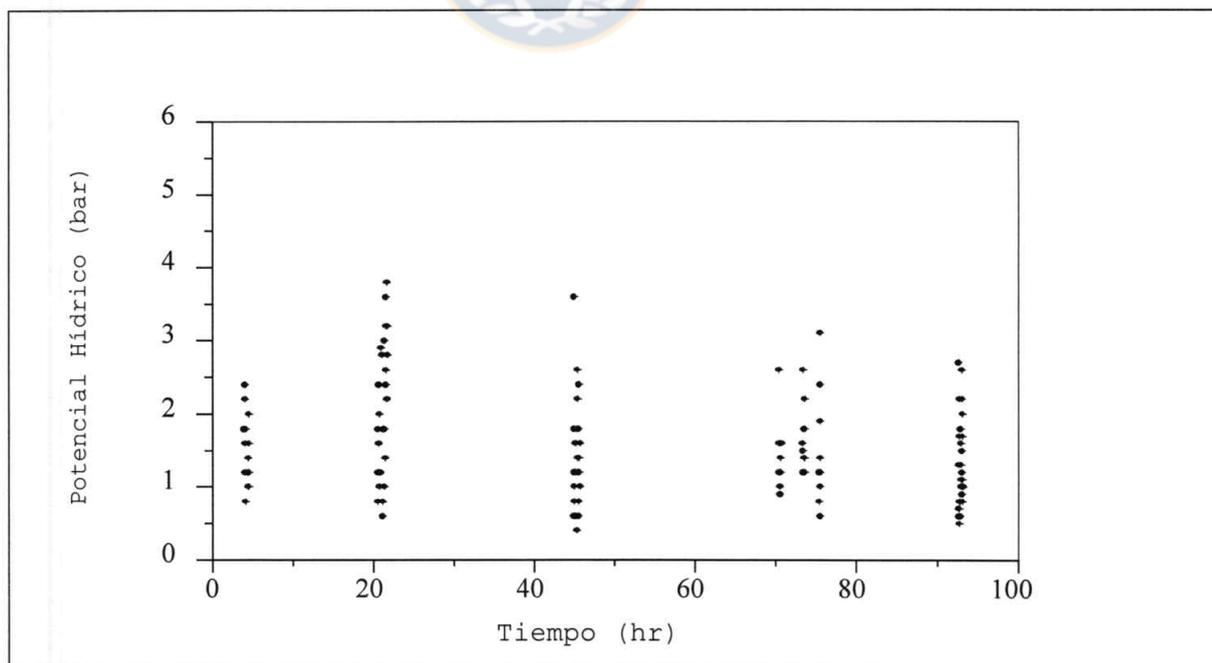


Figura 4. Potencial Hídrico Gel D durante el ensayo.

En la figura 5 (gel E), se observa el primer día existe una alta dispersión de los datos, registrándose, en términos absolutos, los valores más bajos de la variable respuesta durante el ensayo, para el tratamiento. El día 2 hay menor dispersión en los valores y una tendencia a la estabilización, al igual que el tercer día. Existe una leve alza de la tendencia el día 4. El ultimo día de registro de datos, se observa la menor tendencia de los valores y una baja dispersión. Los valores que escapan a la tendencia general (atípicos), son descartados para el análisis posterior.

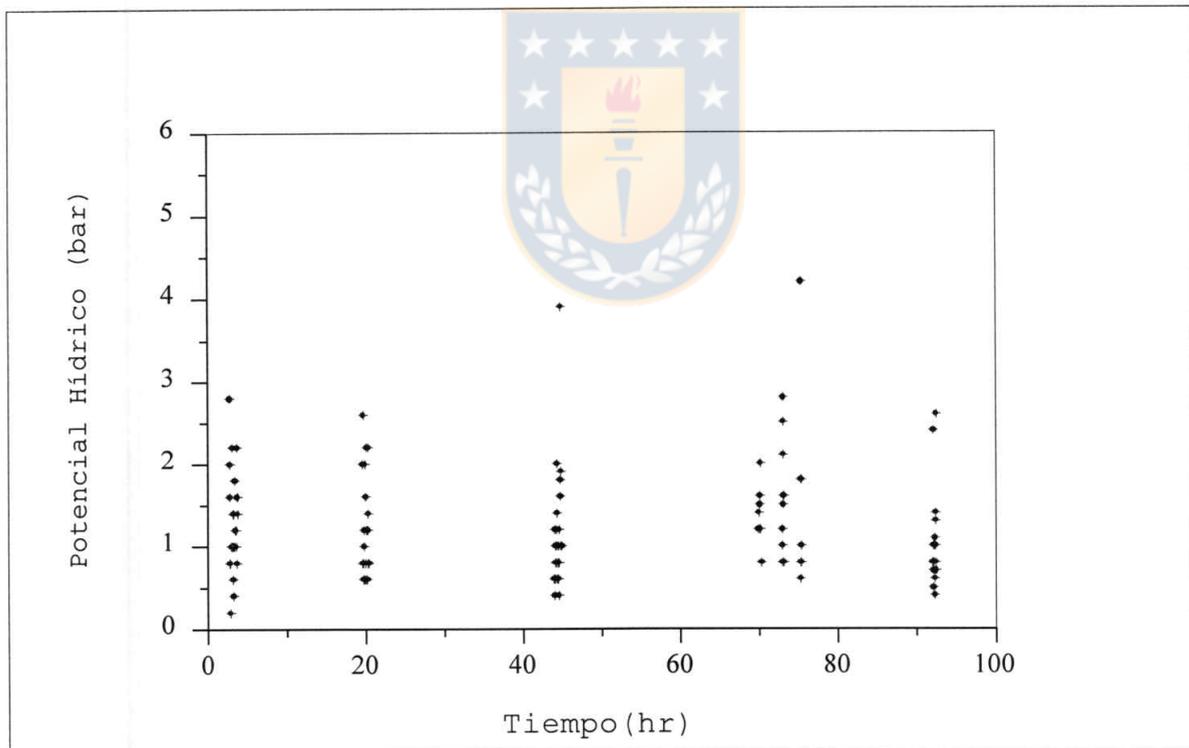


Figura 5. Potencial Hídrico Gel E durante el ensayo.

El comportamiento del gel comercial (F), se aprecia en la figura 6. Existe una mayor dispersión de los valores que en el resto de los geles. El primer día presenta una ligera dispersión, respecto a los otros días. Al día siguiente, hay un incremento en la tendencia y en la variación de los datos. El tercer día, hay una pequeña baja en la tendencia, pero se mantiene la dispersión. El día 4, hay una estabilización en la tendencia de los valores y una baja en la dispersión, respecto al día anterior. El último día presenta una alta dispersión de los registros de la variable respuesta, registrándose los más altos y algunos de los más bajos valores del ensayo, en términos absolutos.

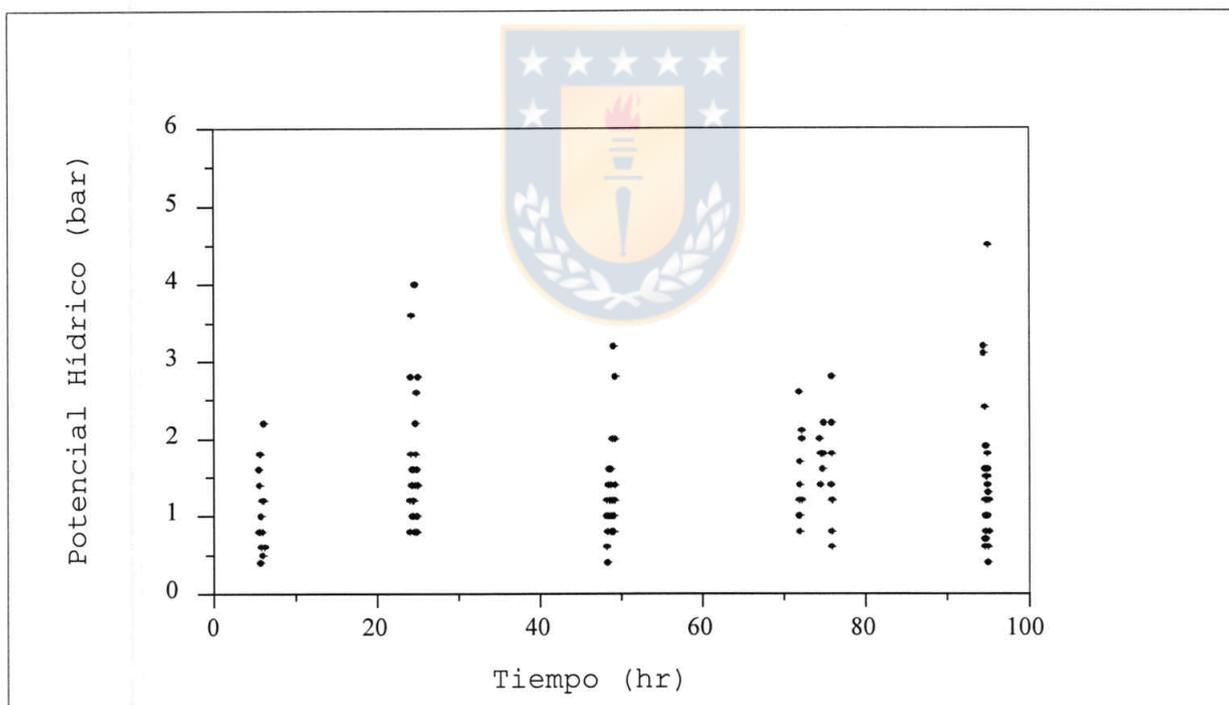


Figura 6. Potencial Hídrico Gel F durante el ensayo.

Para el testigo (figura 7), se ve que el primer día se observan bajos valores del potencial hídrico y una baja dispersión de los datos, aunque con un valor atípico. Existe un incremento en la tendencia de los valores y en la dispersión, al siguiente día, junto a algunos puntos atípicos. El tercer día, hay una baja en la tendencia, respecto al segundo, con una menor dispersión. Esta tendencia se incrementa levemente los siguientes días, al igual que la dispersión. Esta es mayor, en todos los casos el día 5. Aquí puse registran los valores más altos del ensayo.

Puede notarse, que en el caso de los ensayos con geles, existía en todos ellos, al final del experimento, una tendencia a la estabilización de los valores de la variable respuesta. En el caso del testigo, lo anterior no ocurrió.

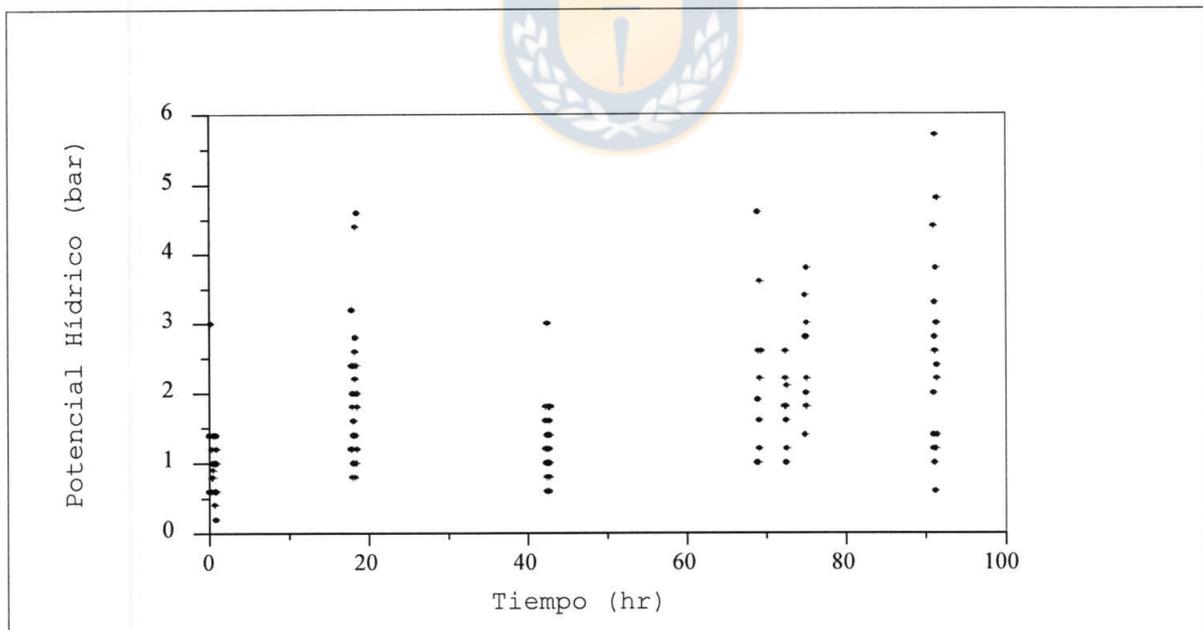


Figura 7. Potencial Hídrico Testigo durante el ensayo.

El hecho que en las figuras 1 a la 6, pueda observarse una leve tendencia la baja del potencial hídrico el último día de medición, puede deberse, como se explicó antes, al escurrimiento normal del gel producto de la gravedad. Quizá, al tener una mayor cantidad de gel adherido entre sus raíces, el gel pudo aportarle el agua retenida en su estructura.

3.1 Análisis descriptivo

Con los datos originales (sin eliminar valores atípicos), se encontró para cada gel (tabla 3), los siguientes estadígrafos básicos, correspondientes a todo el ensayo. Se desprende que el Testigo fue el que presento mayor potencial hídrico promedio, como también la mayor dispersión en los valores medidos. Además, el gel A es el que presenta él mas bajo potencial hídrico como así mismo, la menor dispersión en las mediciones. Junto con ello, el gel E, presentó estadísticos muy similares al gel A.

Tabla 3. Estadísticos de datos originales.

GEL	A	B	C	D	E	F	TESTIGO
MEDIA (Bar)	1.13	1.40	1.15	1.54	1.13	1.43	1.75
DESV. STANDART (Bar)	0.53	0.65	0.55	0.72	0.55	0.71	1.04
NUMERO DE MEDICIONES	135	135	150	135	150	135	142

En la figura 8 puede apreciarse la dispersión de los valores del potencial hídrico (variable respuesta) correspondiente a cada tratamiento, con sus medias respectivas en cada caso. La dispersión se observa tanto para un intervalo con la desviación estándar (SD) en torno a los valores como para el error estándar de estimación (SE) en torno a las medias de los tratamientos, con lo que las figuras son simétricas en cada caso. Se observa claramente, la gran dispersión del Testigo, a la vez que es claramente diferente, con respecto al resto de los tratamientos, por lo que para el análisis posterior, no será considerado. También es notorio que existen 3 tratamientos de similar comportamiento, diferente a otro grupo de 3, los cuales entre sí, también muestran similitud.

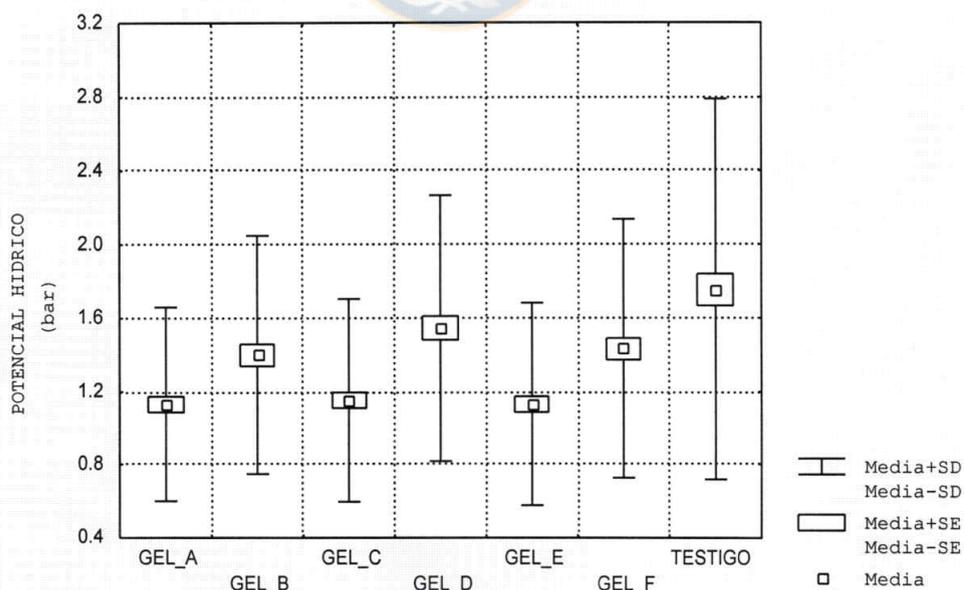


Figura 8. Dispersión de los valores del potencial hídrico.

3.2 Análisis cuantitativo

El ANCOVA indicó que debió utilizarse un diseño completamente aleatorio, por lo que el tiempo secuencial no tuvo influencia en las mediciones. Se hace notar, que en el tratamiento de los datos, se utilizó el valor absoluto del potencial hídrico, aún cuando, por definición éste es negativo. Sin embargo, las conclusiones obtenidas son similares si se hubiese usado el valor negativo, ya que se encuentra que, a mayor valor absoluto del potencial, más deshidratada está la planta. Si se trabaja con el valor negativo, ello implica que mientras más negativo el valor del potencial hídrico, más deshidratada está la planta. Además fue usada la transformación raíz cúbica de los datos, para lograr la normalidad de estos, condición necesaria para las posteriores comparaciones entre las medias de los tratamientos.

3.2.1 Comportamiento de los geles. Se usó un intervalo de Bonferroni (Figura 9), para mostrar las diferencias entre cada tratamiento, con un nivel de confianza simultáneo del 95%, para lo cual se ajustaron las medias transformadas de los datos (Tabla 4).

Se observa que existen 2 grupos diferentes entre sí. Dentro de cada grupo los efectos son iguales (figura 9). Dichos grupos de geles pueden catalogarse como:

GRUPO I: A, C, E

GRUPO II: B, D, F

El primer grupo de geles, conserva mejor la humedad de la planta, ya que el potencial hídrico es menor (en valor absoluto, tabla 4).

Contrastando estos grupos con la granulometría entregada, se ve que aquellos geles que tienen mayores granos (en μm), que corresponden al grupo I, presentan un mejor comportamiento en la prevención de la pérdida de humedad de la planta. Así mismo, la razón de entrecruzamiento no influyó en el comportamiento de la variable respuesta.

Tabla 4. Medias ajustadas del potencial hídrico para los distintos tratamientos.

GEL	A	B	C	D	E	F
POTENCIAL	1.01	1.09	1.02	1.12	1.02	1.09
	a	b	a	b	a	b

Se hace notar que las letras ubicadas bajo los respectivos valores ajustados de la variable respuesta, señalan aquellos que son significativos respecto a otro que posea una letra diferente, al 5% de significancia.

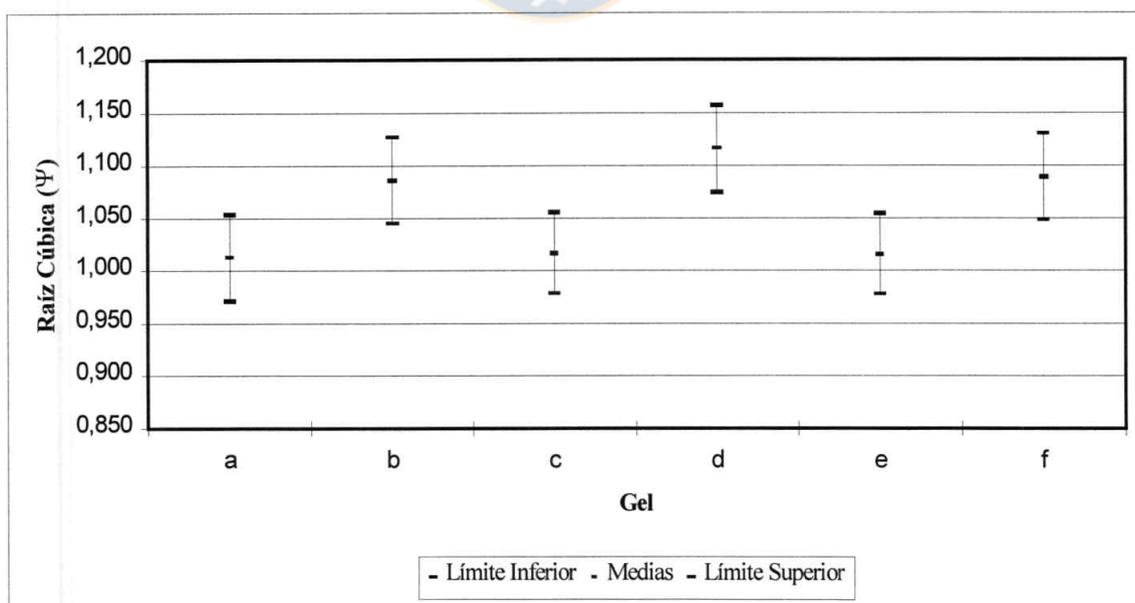


Figura 9. Intervalos de Bonferroni para los distintos geles.

3.3 Análisis cualitativo

Se presenta la siguiente tabla, con las descripciones hechas al final de cada día de las mediciones:

Tabla 5. Comportamiento cualitativo de los geles durante las mediciones.

DIA GEL	1	2	3	4	5
A	ADHERENCIA UNIFORME Y BUENA	ADHERENCIA BUENA	ADHERENCIA BUENA	ADHERENCIA BUENA	ADHERENCIA BUENA
B	ADHERENCIA UNIFORME Y BUENA	ADHERENCIA UNIFORME Y BUENA	ADHERENCIA UNIFORME	ADHERENCIA BUENA	GRAN PARTE EN EL FONDO
C	ADHERENCIA UNIFORME Y BUENA		REGULAR ADHERENCIA	MENOR ADHERENCIA	GEL EN EL FONDO
D	ADHERENCIA UNIFORME Y BUENA		ADHERENCIA BUENA	REGULAR ADHERENCIA	GEL EN EL FONDO
E	ADHERENCIA UNIFORME Y BUENA	ADHERENCIA BUENA	GRAN PARTE SE FUE AL FONDO	UNIFORMIDAD EN LO QUE QUEDA	GRAN PARTE EN EL FONDO
F	ADHERENCIA UNIFORME Y BUENA		ADHERENCIA BUENA	GRAN PARTE ESTA EN EL FONDO	GRAN PARTE EN EL FONDO

Al decir que gran parte del gel se fue a fondo, implica que debido al período de tiempo transcurrido, por diversos motivos (escurrimiento, agitación), la mayor parte del gel se encuentra en el fondo de la caja. Ello puede significar, que un número importante de raíces de algunas plántulas no sean cubiertas por el gel. Sin embargo las plantas del fondo están cubiertas enteramente.

Los días en que no hay registro, implica que existe una gradual disminución de la adherencia del producto en las raíces.

Se observa que en general, para la mayoría de los tratamientos, el gel escurrió hasta el fondo de la caja, al término del ensayo. El tratamiento con el gel A, es el que presenta mejor adherencia visual en las raíces, comparada con los otros geles, aunque los resultados cuantitativos indican que su eficiencia es similar a los geles C y E, al final del ensayo. En todo caso, para el gel A, también existieron algunas plantas que no fueron cubiertas por la solución.

En todo caso, se hace notar que las plántulas de *Pinus radiata* analizadas, venían muy bien hidratadas y así permanecieron hasta el final del ensayo, ya que ninguna sobrepaso los niveles críticos de -5 bar ó -0.5 MPa. Esto está de acuerdo con los estudios realizados en Norteamérica Echols *et al* (1990), en que se muestra que si las plantas no son expuestas a condiciones de manipulación severas, no sufren pérdida de humedad. De todas formas los resultados sugieren que si es que se realiza un almacenaje prolongado, a temperatura ambiente de plántulas de *Pinus radiata*, el agregar una solución de superabsorbente mantiene en mejores condiciones hídricas al vegetal.

IV CONCLUSIONES

- La adición de superabsorbente a las raíces de plántulas de *Pinus radiata* mantiene por mayor tiempo el agua en su interior.
- Con geles de mayor granulometría, se logra una mayor retención del agua en la planta (geles A, C, E). Dentro de éstos, las granulometrías entre 425 y 850 μm (A y E), presentan mejor adherencia en las raíces de las plántulas.
- Durante el estudio, las plántulas, incluido el testigo, presentaron un estado hídrico no cercano al nivel crítico.
- La razón de entrecruzamiento, para superabsorbentes de igual granulometría (geles A y E), no afectó el contenido de agua en las plantas.

V RESUMEN

Se realizó un estudio para determinar el efecto de la aplicación radicular de geles superabsorbentes en el potencial hídrico de plántulas de *Pinus radiata* producidas a raíz desnuda.

Durante el ensayo las plantas permanecieron almacenadas en cajas de embalaje, bajo similares condiciones ambientales. El potencial hídrico fue evaluado en un período de cinco días, utilizándose una cámara de presión Schölander.

Los resultados expresan que cualquiera de los geles aplicados permite proteger la planta contra la pérdida de agua en comparación al control. Sin embargo, los geles de mayor granulometría, esto es A y E (425-850 μm) y C (850-2000 μm) fueron significativamente mejores que los geles B (150-300 μm), D (300-425 μm) y F (200 μm principalmente), en la protección de la planta. También se apuntan diferencias en la adherencia de los geles en las raíces de las plántulas, siendo el gel A, el que presenta mejor adherencia visual.

Se hace notar que durante los cinco días, las plantas no alcanzaron el nivel crítico de -0.5 MPa. Además, en cuanto a la síntesis de polímeros de igual granulometría, no hay diferencia entre usar una diferente razón de entrecruzamiento (moles de entrecruzador/[moles acrilamida + moles ácido acrílico]).

SUMMARY

This research reports the results of water potential *Pinus radiata* D. Don bareroots seedlings according to an application of polymer gels on its roots. There was a comparison between different gels made by the University of Concepción and one commercial product.

It used a Schölander pressure chamber for measuring the seedlings' water potential. Here it is shown, that superabsorbents gels produced by the University best protect the water state seedlings during the storage. Its success depends on the polymer's granulation as well as adhesion on the roots. The bigger the granulometry the better water grapped. The gel's synthesis does not show different responses on water potential.

Almost none of the plants achieved the critical level during the experiment. It discusses the methodology used.

VI BIBLIOGRAFIA

Barceló, J., G. Nicolás, B. Sabater y R. Sánchez. 1995. Fisiología Vegetal. Pirámides S.A. Madrid, España.

Beadle, C., M. Ludlow and J. Honeysett. 1985. Water Relations. En Techniques in Bioproductivity and Photosynthesis, pp 50-61. 2° Edición. Coombs, Hall, Long and Scurlock. Pergamon Press. London, U.K.

Beltrán, S. y J. Coca. 1993. Geles Poliméricos: Nuevos Materiales Para Procesos de Separación. Revista Ingeniería Química 9:335-344.

Cid, L. 1992. Superabsorbentes Poliméricos, Síntesis y Aplicación. Tesis de Grado Universidad de Concepción. Facultad de Ingeniería. Concepción. Chile.

Daniel, P., U. Helms and F. Baker. 1982. Principios de Silvicultura. Primera Edición en Español. McGraw-Hill(Eds.). Ciudad de México. México.

Dunsworth, B. 1985. Three-year Survival and Height Growth of 2+0 Bareroot Douglas-Fir Seedlings Treated With a Symbex Root Dip. Tree Planters' Notes 36(1): 24-25.

Echols, R., C. Meier, A. Ezell and C. Mc Kinley. 1990. Dry Site Survival of Bareroot and Container Seedlings of Southern Pine From Different Genetic

Sources Given Roots Dip and Ectomycorrhizal Treatment. Tree Planters' Notes 41(2): 13-32.

Escobar, R. 1994. La planta ideal. En: Silvotecnica IV. Forestal Mininco S.A. y Fundación Chile (Eds). Noviembre, 24-25, 1994. Concepción, Chile.

Haase, D. and R. Rose. 1993. Soil Moisture Stress Induces Transplant Shock in Stored and Unstored 2+0 Douglas-Fir Seedlings of Varying Root Volumes. Forest Science 39(2): 275-294.

Hicks, R. 1992. Root Dipping of Seedlings with Water-Absorbent Gel Improves Survival on Surface Mine Sites in West Virginia. Tree Planters' Notes 43(4): 159-162.

Joly, R., W. Adams and S.G. Stafford. 1989. Phenological and Morphological Responses of Mesic and Dry Site Source of Coastal Douglas-fir to Water Deficit. Forest Science 35(4): 987-1005.

Kaufmann, M. 1977. Soil Temperature and Drought Effects on Growth of Monterrey Pine. Forest Science 23(3): 317-325.

Kuhns, M., W. Stroup and G. Gebre. 1993. Dehydration Tolerance of Five Bur Oak (*Quercus macrocarpa*) Seed Sources From Texas, Nebraska, Minnesota, and New York. Canadian Journal of Forest Research 23(3): 387-393.

Marx, D. 1996. Water Management at the Root Level. <http://www.planthealthcare.com/watmanag.html>

- Miller A. and M. Reines. 1974. Survival and Water Relations in Loblolly Pine Seedlings After Root Immersion in Alginate Solution. *Forest Science* 20(2): 192-194.
- Nambiar S. and R. Sands. 1994. Competition for Water in Forest. *Canadian Journal of Forest Research* 23(10): 1955-1968.
- Nautiyal, S., D. Negi and Shiv Kumar. 1996. Effect of Water Stress and Antitranspirant on the Chlorophyll Contents of the Leaves of *Pongamia pinnata* (L.) Pierre. *Indian Forester* 122(11): 1018-1012.
- Peña, I. 1996. Potencial de Crecimiento Radicular de Plantas de *Pinus radiata* D. Don con Diferente Potencial Hídrico. Tesis de Grado Universidad de Concepción. Facultad de Ciencias Forestales. Concepción. Chile.
- Ramírez, M. 1999. Efecto de la Condición Ambiental y Tiempo de Permanencia, en el Transporte de Plantas de *Pinus radiata* D. Don y *Eucaliptus nitens* Maiden. Tesis de Grado Universidad de Concepción. Facultad de Ciencias Forestales. Concepción. Chile.
- Sanchez-Díaz, M. y J. Aguirreolea. 1993. Relaciones Hídricas. En *Fisiología Vegetal*, pp 49-90. Azcon-Bieto, J. y M. Talon (Eds). McGraw-Hill. Madrid, España.

- Sands, R. and D. Mulligan. 1990. Water Nutrient Dynamics and Tree Growth. *Forest Ecology and Management* 30(1/4): 91-111.
- Sloan, P. 1994. The Use of Rootdips on North American Conifer Seedlings: A Review of the Literature. *Tree Planters' Notes* 45(1): 26-31.
- Stjernberg, E. 1997. Mechanical Shock During Transportation: Effects on Seedling Performance. *New Forest* 13 (1/3): 401-420.
- Vargas, E. 1994. Síntesis de Superabsorbentes a Base de Copolímeros de Injerto Sobre Almidones de Origen Chileno. Tesis de grado Universidad de Concepción. Facultad de Ingeniería. Concepción. Chile.
- Vitta, S., E. Stahel, and V. Stannett. 1986. The Preparation and Properties of Acrylic and Methacrylic Acid Grafted Cellulose Prepared by Ceric Ion Initiation. *Journal of Applied Polymer Science*. 32(7): 5799-5810.
- Williams, P., A. Gordon and A. Moeller. 1990. Effects of Five Antitranspirants on White Spruce and White Pine Seedlings Subjected to Greenhouse Drought. *TreePlanters' Notes* 41(1): 34-38.
- Yoshinobu, M., M. Morita, M. Higushi and I. Sakata. 1994. Morphological Study of Hidrogels of Cellulosic Super Water Absorbents by CRYO-SEM Observation. *Journal of Applied Polymer Science*. 53(9): 1203-1209.

VII APENDICE

Algunas consideraciones

El método de la cámara de presión conlleva algunas desventajas tales como la destrucción de la muestra y también que las lecturas pueden ser dependientes de la hora en que sean efectuadas.

También será deseable, en experimentos similares que se realicen posteriormente, que se hagan mediciones del potencial hídrico en el mismo momento en que se extraen las plantas, para tener una referencia respecto a la pérdida de agua de éstas en el tiempo.

En el análisis de varianza, el tratamiento del testigo no fue considerado, ya que provocaba que los datos no tuviesen homogeneidad de varianza, ya que este tratamiento aportaba casi toda la variabilidad en la población.

Datos experimentales adjuntados

El análisis del agua usado en la preparación de la mezcla de los geles, efectuada por el Departamento de Ingeniería Química de la Universidad de Concepción dio el siguiente resultado:

Tabla 1A. Análisis de muestra de agua de Quillón

CONDUCTIVIDAD (mmho)	pH	SOLUTOS TOTALES (ppm)	CARBONATOS (ppm)	CLORUROS (ppm)
0.198	7.0	180	96	7.1

El registro de los tiempos secuenciales en que se comenzó una tanda de medición y en la que se terminó, se observan en la siguiente tabla:

Tabla 2A. Registro Inicio/Término de mediciones.

DIA 1		DIA 2		DIA 3		DIA 4		DIA 5	
Inicio	Término								
0:00	6:10'	17:45'	25:00'	42:00'	49:00'	68:00'	75:10'	88:00	92:10'

Consideraciones en el análisis de los datos

Del mismo modo, hubo que realizar una transformación de la variable respuesta, el potencial hídrico, de forma tal que sus residuos, presentasen un comportamiento normal. Todo lo anterior, con el fin de hacer más potente y justificado el análisis estadístico y las conclusiones. Así mismo, en un análisis exploratorio, se refinó la información obtenida, eliminando datos extremos.

$$Y_{ij} = \sqrt[3]{\Psi_{ij}}$$

Dicha transformación de datos resultó de la forma:

Donde:

Y_{ij} , es el potencial hídrico transformado de la i -ésima observación del j -ésimo tratamiento

Ψ_{ij} , es el potencial hídrico original de la i -ésima observación del j -ésimo tratamiento

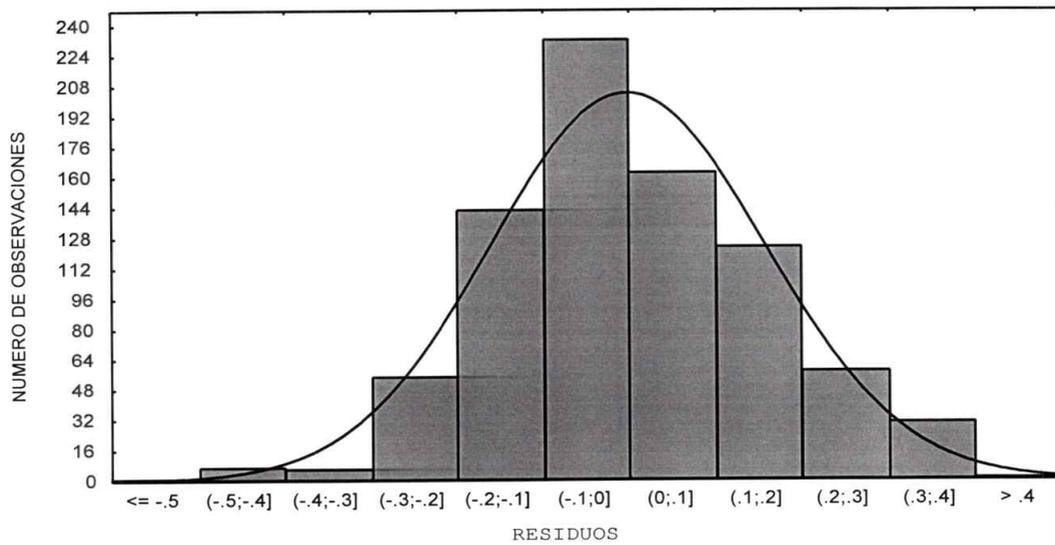


Figura 1A: Histograma de residuos de la raíz cúbica del potencial hídrico

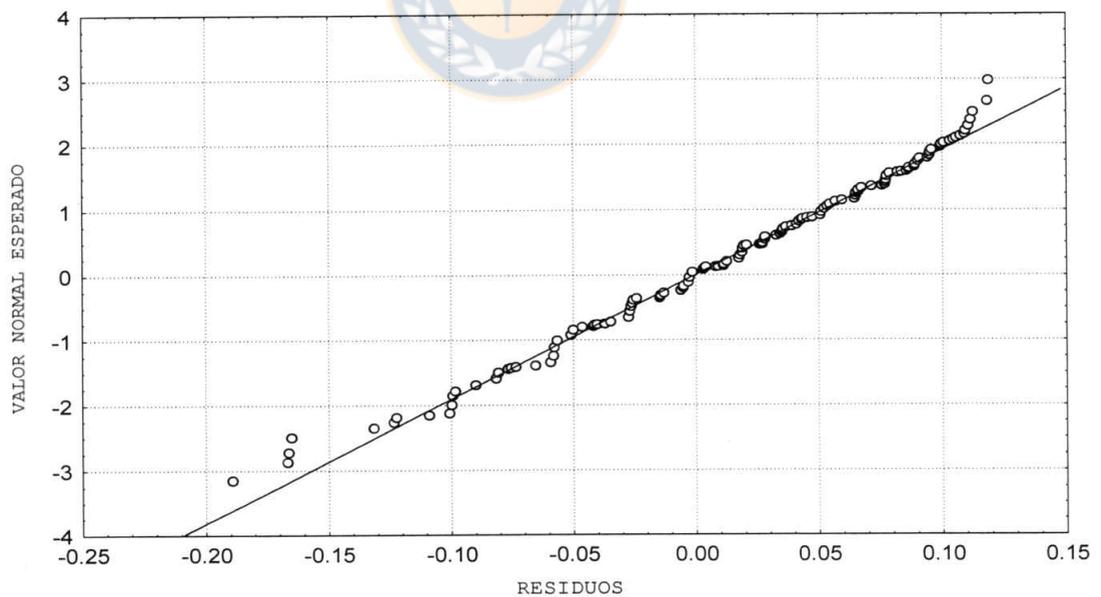


Figura 2A: Gráfico de Probabilidad normal de residuos de el ANOVA

Otro aspecto imprescindible es que la varianza de los datos sea homogénea, lo cual se comprueba con el test de Bartlett. Se hace notar, que aquí no están presentes los datos del testigo, por lo explicado anteriormente.

Tabla 3A. Test de Bartlett de homogeneidad de varianza.

CHI-CUADRADO	GRADOS DE LIBERTAD	VALOR p
0.644	5	0.976

El valor tan alto de p , indica que no existe evidencia suficiente para rechazar la hipótesis nula, que plantea la homogeneidad de varianza.

Los puntos atípicos, extremos y los cuartiles pueden apreciarse en la Figura 3A.

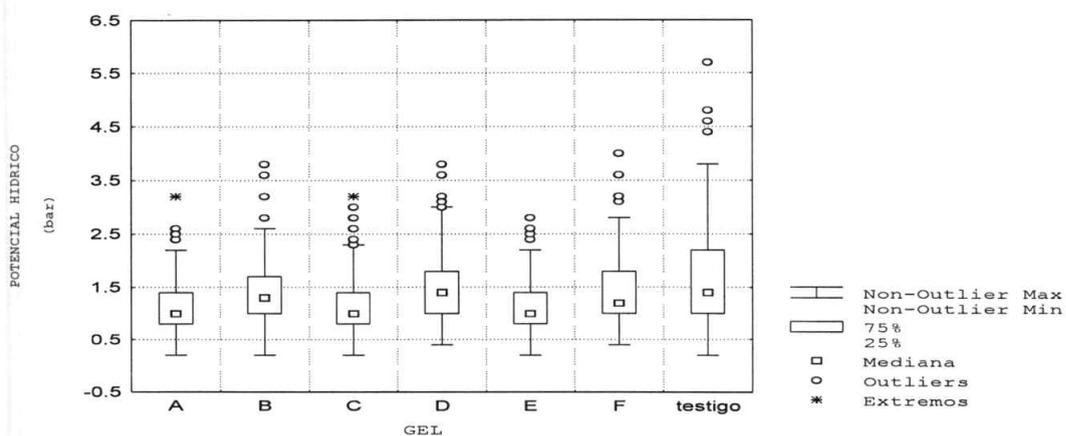


Figura 3A. Gráfico de caja para el potencial hídrico según categorización por gel.

Tabla 4A. Análisis de covarianza

FUENTE	GRADOS DE LIBERTAD	SUMA CUADRADOS	CUADRADOS MEDIOS	F	VALOR P
Pendiente común	1	0.2818	0.0564	2.20	0.138
Error	774	19.8119	0.0256	-	-

El valor p (0.138) es mayor al 5%, lo que no permite rechazar la hipótesis nula de que la pendiente común es cero, lo que implica que el tiempo secuencial no tiene influencia en los tratamientos.

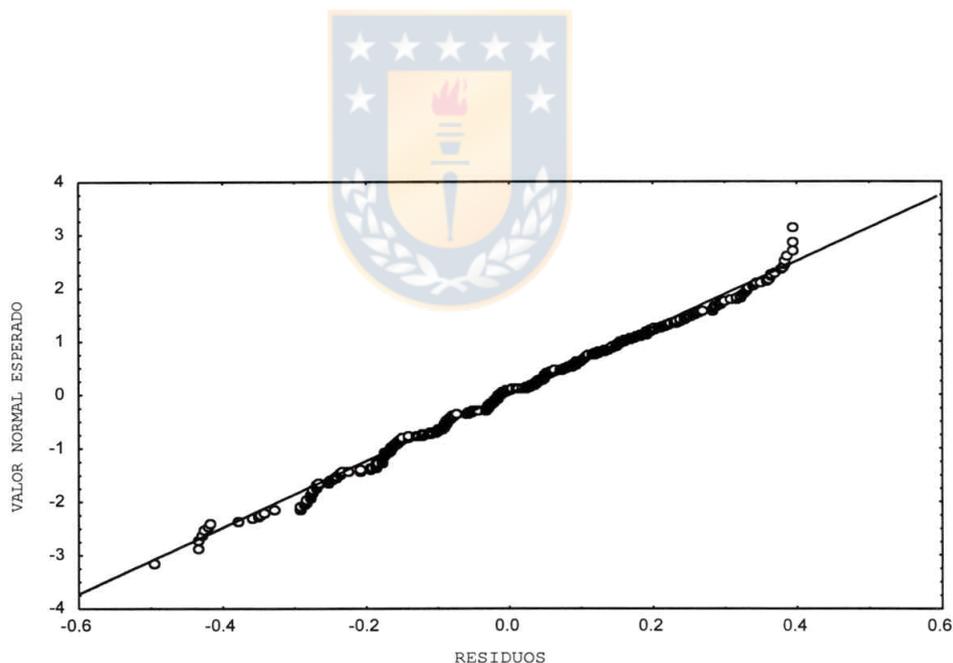


Figura 4A. Probabilidad Normal para residuos del potencial hídrico en el modelo del ANCOVA.

Se observa que los residuos del ANCOVA son normales.

Tabla 5A. Análisis de varianza para las medias de los tratamientos (ANOVA).

FUENTE	SUMA DE CUADRADOS	GRADOS DE LIBERTAD	CUADRADOS MEDIOS	F	VALOR p
Tratamientos	1.2452	5	0.2490	9.655	0
Error	20.0937	779	0.0258	-	-
Total	21.3390	784		-	-

El valor p cero, implica rechazar la hipótesis nula de que las medias de los tratamientos son iguales. Por lo tanto, si existe diferencia entre los tratamientos.

En la Tabla 6A, se observa la comparación múltiple entre los distintos tratamientos. Cuando se contrastan dos geles con distinto efecto, se denota con un asterisco.

Tabla 6A. Prueba de Tuckey para la raíz cúbica del potencial hídrico.

GEL	A	B	C	D	E	F
MEDIAS	1.0127	1.0861	1.0167	1.1160	1.0160	1.0891
A	-	0.002848**	0.999945	0.000022**	0.999979	0.001581**
B	0.002848**	-	0.004316**	0.657836	0.003502**	0.999989
C	0.999945	0.004316*	-	0.000023*	1	0.002391**
D	0.000022**	0.657836	0.000023**	-	0.000023**	0.751933
E	0.999945	0.003502**	1	0.000023**	-	0.001924**
F	0.001581**	0.999989	0.002391**	0.751933	0.001924**	-

** : altamente significativo. Valor p inferior al 1%