

## ÍNDICE DE MATERIAS

1. INTRODUCCIÓN.....	1
2. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA.....	4
2.1. Antecedentes generales.....	4
2.2. Necesidades hídricas del palto y el manejo del riego.....	5
2.3. El riego deficitario controlado (RDC) y su aplicación en palto.....	9
2.4. Determinación del estatus hídrico a través del potencial hídrico.....	14
2.5. Respuestas de las plantas al déficit hídrico y la acumulación de prolina.....	21
3. MATERIALES Y MÉTODOS.....	25
3.1. Determinación del potencial hídrico bajo tratamientos de RDC.....	25
3.1.1. Ubicación del estudio.....	25
3.1.2. Descripción.....	25
3.1.3. Determinación del potencial hídrico xilemático.....	28
3.1.4. Registros.....	29
3.1.5. Diseño experimental.....	29
3.2. Sequía experimental.....	30
3.2.1 Descripción.....	30
4. PRESENTACIÓN Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS.....	31
4.1. Análisis de la aplicación del riego.....	31
4.2 Análisis del potencial hídrico y ajuste osmótico.....	33
5. CONCLUSIONES.....	43
6. RESUMEN.....	44
7. LITERATURA CITADA.....	45
ANEXOS	

## 1. INTRODUCCIÓN

El riego deficitario controlado (RDC) corresponde a la reducción de los aportes hídricos, en aquellos períodos fenológicos en que un déficit no afecta la cantidad ni calidad de la cosecha, cubriéndose plenamente las demandas hídricas durante los períodos sensibles del ciclo del cultivo (MITCHELL *et al*, 1984).

Los principales objetivos buscados a través de esta práctica son, por una parte, los relacionados con los ahorros de agua y el incremento en la eficiencia del riego; y, por otra, la limitación del crecimiento vegetativo a favor de los fenómenos relacionados con la producción, de esta forma, se podrían obtener árboles más pequeños y de mayor productividad (SAAVEDRA, 2000 y ENGLISH y NAVAID, 1996).

Para la planificación de una estrategia de RDC deben considerarse los períodos críticos del cultivo, el nivel de coincidencia entre el crecimiento vegetativo y el del fruto, las características del suelo, el sistema de riego y el clima (SÁNCHEZ-BLANCO y TORRECILLAS, 1995).

Sin embargo, no es posible determinar con exactitud hasta qué niveles de restricción hídrica es posible someter a un árbol, antes de que manifieste daños permanentes, ya que no existe información suficiente sobre los niveles de estrés hídrico y su relación con las láminas de riego aplicadas. El establecer claramente esta relación ha cobrado gran interés científico (SÁNCHEZ-BLANCO y TORRECILLAS, 1995).

Diversos investigadores han propuestos alternativas de caracterización del estado hídrico de las plantas, como un punto de partida para determinar cuando este estado se ve afectado por las condiciones de estrés.

SCHAFFER y WHILEY (2002) y MEYER y REICOSKY (1985) señalan que es posible determinar el estado hídrico de las plantas a través de la medición del potencial hídrico ( $\psi$ ), el cual se mide con una cámara de presión tipo Scholander. Una importante variación del potencial hídrico significaría que la planta está bajo un estrés.

Otros autores indican que la sola medición del potencial hídrico no es suficiente como indicador del nivel de estrés, ya que existe una respuesta de las plantas a situaciones de estrés, como es la acumulación de solutos en las células, disminuyendo el potencial osmótico, para mantener un aceptable nivel de turgencia y distorsionando los valores del potencial hídrico. A esta respuesta, se le denomina ajuste osmótico (BRAY, 1997).

Uno de estos solutos, utilizado por las plantas y el más ampliamente estudiado, es el aminoácido prolina (NOLTE, HANSON y GAGE, 1997).

LATORRE, GODOY y ALBERDI, (2002) indican que los cambios de hidratación que sufre un vegetal, pueden correlacionarse con los cambios en los niveles de prolina de sus hojas y constituirse como otro indicador del nivel de estrés hídrico que padece un vegetal.

El presente estudio plantea que en árboles de palto cv. Hass, sometidos a niveles restrictivos de riego, es posible establecer relaciones entre el potencial hídrico xilemático, las láminas de agua aplicadas y la acumulación de prolina en las hojas.

Objetivo general:

Relacionar experimentalmente láminas de agua aplicadas bajo una estrategia de Riego Deficitario Controlado, con el estrés hídrico que alcanzan árboles de palto cv Hass.

Objetivos específicos:

- Determinar el potencial hídrico xilemático de árboles regados bajo régimen de RDC.
- Definir la variación y establecer la relación del potencial hídrico frente a un cambio en las láminas de riego aplicadas.
- Determinar la humedad volumétrica del suelo en un huerto de paltos, bajo sequía experimental y la concentración de prolina en sus hojas.

## 2. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

### 2.1. Antecedentes generales:

El agua es el principal componente de las plantas, cumple múltiples funciones que son vitales para su desarrollo, tales como la disolución de sustancias, sirve como medio de transporte, participa activamente en reacciones químicas y es responsable de la turgencia de las células, que dan rigidez a la planta (MARTÍN DE SANTA OLALLA y VALERO, 1993).

Existen diversas formas para determinar las demandas hídricas de los cultivos, la más usada es la del balance hídrico en el conjunto suelo-planta-atmósfera (MARTÍN DE SANTA OLALLA y VALERO, 1993). Este se define como una suma sobre todas las ganancias y pérdidas de agua, en un periodo de tiempo dado (SALGADO, 2000).

$$\underbrace{P + R}_{\text{ingresos}} = \underbrace{ETc + Pp + es}_{\text{egresos}} \pm \underbrace{\Delta\theta}_{\text{almacenamiento}}$$

$P$  : Precipitaciones del periodo.

$R$  : Riego del periodo.

$ETc$  : Evapotranspiración del cultivo.

$Pp$  : Percolación profunda.

$es$  : Escorrentía superficial.

$\Delta\theta$  : Variación del contenido de humedad en el suelo. (almacenamiento).

Las bases fisiológicas de la producción vegetal radican en gran proporción en el proceso de transpiración de las plantas (HONORATO, 1997), la que permite el intercambio gaseoso y la producción de biomasa. Pero, en el modelo del balance hídrico, esto corresponde sólo a una parte de los egresos relacionados con la

planta, también se debe considerar la evaporación directa del agua desde el suelo donde éstas se encuentran.

Es así como surge el término de evapotranspiración, que corresponde a un proceso combinado de transferencia de agua desde la superficie terrestre hacia la atmósfera, a través de una cubierta vegetal, incluyendo también el agua evaporada desde el suelo. Cuando no existen limitantes del recurso en el suelo, se produce la mayor velocidad de remoción de agua desde la fitósfera, este hecho se conoce como evapotranspiración potencial ( $ET_0$ ) (SALGADO, 2000).

## 2.2. Necesidades hídricas del palto y el manejo del riego:

El riego tiene por finalidad suplir los requerimientos hídricos de las plantas cuando el agua aportada por fuentes naturales es insuficiente para lograr un abastecimiento adecuado, requerido para la producción y desarrollo vegetativo (HOLZAPFEL *et al*, 1995).

En tipos de fruticultura como la chilena, en que la mayor parte del abastecimiento de agua para los frutales proviene del riego, éste se convierte en el manejo más importante en el desarrollo de los árboles (RAZETO, 1999). Esto ocurre particularmente en el caso del palto, que corresponde a una especie altamente sensible, tanto al déficit como al exceso de agua (GARDIAZÁBAL, 1998). Con respecto a esto, LAHAV y WHILEY (2002), afirman que el suministro hídrico es el factor que mayoritariamente influye en el crecimiento del árbol, en su productividad y calidad de la fruta cosechada.

A pesar de su gran trascendencia, existen graves y reiterados errores cometidos al momento de realizar los riegos (RAZETO, 1999). La ineficiencia del riego en huertos de palto es causa, entre otros, del desconocimiento de las reales necesidades

hídricas de la especie y su real dimensión en la relación con el rendimiento (CARDEMIL, 1999).

La cantidad de agua en un riego que satisface la transpiración de los árboles de palto, depende de la condición medioambiental, el tipo de suelo y características de las plantas, como lo son su tamaño, edad, sistema radicular y niveles de producción (SALGADO, 1990).

Para evitar que el abastecimiento del agua sea deficiente o excesivo y permitir, junto a esto, la obtención de buenos rendimientos en un huerto de palto, es recomendable efectuar una programación del riego (PRODECOP 2001). Un buen programa de riego puede servir para controlar el tamaño de árboles de palto (LAHAV y WHILEY, 2002).

MONTEDÓNICO (2001) indica que el conocimiento de la evapotranspiración potencial ( $ET_0$ ) es fundamental para estimar las necesidades hídricas del palto y realizar una correcta programación del riego. SALGADO (1990) afirma que, en Chile, la estimación de la  $ET_0$  se realiza, mayoritariamente, usando la bandeja evaporimétrica clase A USWB. Por su parte, LAHAV y WHILEY (2002) indican que también es el instrumento más usado a nivel mundial, para la programación del riego en plantaciones de palto.

La bandeja evaporimétrica corresponde a un estanque circular de 121cm de diámetro y de 25,5cm de profundidad, hecha de fierro galvanizado de 0,8mm de espesor. Para determinar la  $ET_0$ , los valores de evaporación de bandeja se corrigen mediante un coeficiente de bandeja ( $K_b$ ), que refleja las condiciones de instalación, de la siguiente manera (SALGADO, 2000):

$$ET_0 = E_b \times K_b \quad (mm / día)$$

$ET_0$  : Evapotranspiración potencial.

$E_b$  : Evaporación de bandeja.

$K_b$  : Coeficiente de bandeja.

Para la estimación de las necesidades hídricas del cultivo ( $ET_c$ ), la  $ET_0$  se debe corregir con un coeficiente de cultivo ( $K_c$ ), el que es definido de manera experimental, integrando situaciones como, características del cultivo, condiciones climáticas, período vegetativo y frecuencias de riego o de ocurrencia de lluvias. La  $ET_c$  es obtenida mediante la siguiente relación (SALGADO, 2000):

$$ET_c = ET_0 \times K_c \quad (mm/día)$$

$ET_c$  : Evapotranspiración del cultivo.

$ET_0$  : Evapotranspiración potencial.

$K_c$  : Coeficiente de cultivo.

CARDEMIL (1999) señala que se han recomendado distintos coeficientes de cultivo para el palto, dependiendo de la localización y época del año. LAHAV y KALMAR (1977) obtuvieron valores entre 0,43 y 0,6. Estos mismos autores, en el año 1983, publican nuevos valores, entre 0,39 y 0,54; ADATO y LEVINSON (1988), 0,46 a 0,64; por su parte, WHILEY, CHAPMAN y SARANAH (1988) obtienen valores de 1,0 y 1,2. MEYER (1990) determina valores entre 0,35 y 0,55 y LUKE (1995) define un valor de 1,2 para la zona de Corona en California.

En Chile, BOZZOLO (1993), basándose en un análisis de láminas aplicadas a dos huertos de palto cv. Hass e información meteorológica, estimó, para la zona de Quillota, coeficientes de cultivo cercanos a 0,5 en primavera; 0,65, en verano; y 0,55, hacia otoño. Por su parte, CARDEMIL (1999) sugiere coeficientes de 0,6 en

julio y agosto; de 0,6 a 0,7, entre septiembre y noviembre; y de 0,8 a 0,9, en los meses de verano.

Con respecto a la aplicación del riego, la forma más eficiente para hacerlo, en huertos de paltos, ahorrando agua, mejorando la distribución de raíces, y obteniendo buenos rendimientos, es a través de los sistemas localizados (PRODECOP, 2001).

Estudios en paltos señalan una marcada influencia del método de riego (microaspersión y goteo) sobre el medioambiente del suelo, el cual modificaría los patrones de actividad y distribución radicular (TORO 1995 y VILLABLANCA 1994). El éxito de los sistemas de riego, goteo y microaspersión depende en gran medida del tipo de suelo y, sobre todo, de su profundidad (LAHAV y WHILEY, 2002). VILLABLANCA (1994) determina que, entre los sistemas de riego goteo y microaspersión, es mas importante la distribución del agua en el perfil del suelo, que el volumen aplicado.

El humedecimiento parcial del suelo, que ocurre en riego por goteo en huertos con amplio espaciamiento, como los de palto, genera un porcentaje de raíces generalmente mayor en los primeros 0,5m del suelo y dentro de los dos metros a cada lado de la línea de goteros (MICHELAKIS, VOUGIOVCALOV y LLAPAKI, 1993). Según UGARTE (1996), existe un mayor número de raíces entre los 25 y 75cm de profundidad en un sistema de goteo que en un sistema de microaspersión.

Acerca del número de líneas de goteros, MICHELAKIS (1997) demuestra que no existen diferencias significativas entre regar con una, dos o tres líneas de goteros, sobre la producción y el tamaño de la fruta.

CONTADOR (1998), por su parte, indica que no existen diferencias, en el comportamiento del potencial hídrico del palto, entre sistemas de riego por microaspersión y goteo.

Se han recomendado diferentes cantidades de agua a aplicar en huertos de palto para el consumo anual, es así como BOZZOLO (1993) determina para la localidad de Quillota, un consumo anual de entre 5.300 y 5.700m<sup>3</sup>/ha.

GARDIAZABAL (1998), por su parte, propone aportes hídricos de 6.000m<sup>3</sup>/ha para un huerto en la localidad de Quillota, con una evaporación máxima de bandeja de 7mm/día y una precipitación anual de 430mm. CARDEMIL (1999) indica que para Quillota, el gasto de agua fluctúa entre 7.000 y 9.600m<sup>3</sup>/ha/año.

Por último, LAHAV y WHILEY (2002) recomiendan frecuencias de riego para plantaciones de paltos en climas cálidos, de siete a doce días para árboles regados con aspersores; dos a siete días, para riego con microaspersión; y de uno a tres días, para riego con goteo.

### 2.3. El riego deficitario controlado, (RDC) y su aplicación en palto:

La progresiva disminución en la disponibilidad de agua para la agricultura ha impulsado numerosas investigaciones en fruticultura, con el objetivo de diseñar estrategias de riego que permitan aumentar la eficiencia del uso del agua. (SÁNCHEZ-BLANCO y TORRECILLAS, 1995). Es así como, a principios de los años 80, surge el concepto de Riego Deficitario Controlado (RDC), a través de investigaciones realizadas con duraznero (GIRONA, 1996).

El RDC es una estrategia de riego basada en la reducción de los aportes hídricos a las plantas, en los periodos fenológicos en que un estrés hídrico no afecta sensiblemente a la producción y calidad de la cosecha y que cubre completamente la demanda de riego en el resto del ciclo del cultivo (MITCHELL *et al*, 1984). Esta estrategia se apoya en la incidencia del estrés por falta de agua, sobre dos procesos fisiológicos de las plantas: el crecimiento vegetativo y la fotosíntesis (GIRONA, 1996). En huertos de palto es posible manejar el balance entre crecimiento

vegetativo y productividad, a través de un régimen de riego controlado (LAHAV y WHILEY, 2002).

Los potenciales beneficios del riego deficitario derivan de tres factores: incremento en la eficiencia del riego, reducción de los costos del riego y los costos de oportunidad del uso del agua (ENGLISH y NAVAID, 1996). Además se busca limitar el crecimiento vegetativo, a favor de los fenómenos relacionados con la producción y, de esta forma, se podrían obtener árboles más pequeños y de mayor productividad, lo que actualmente es una tendencia mundial en la producción frutícola (SAAVEDRA, 2000).

La principal problemática presentada por los investigadores es el hecho de no considerar que el riego deficitario puede resultar más o menos trascendente, en función del momento fenológico en que es aplicado (SÁNCHEZ-BLANCO y TORRECILLAS, 1995).

De acuerdo con esto, SAAVEDRA (2000), refiriéndose al trabajo de CASTEL y BUJ (1990), sobre riego deficitario en cítricos, señala que más interesante que aplicar una fracción de las necesidades hídricas durante toda la estación de riego, es hacerlo en los distintos procesos de la planta, o sea, adecuar los aportes hídricos al comportamiento fisiológico del árbol.

Según ENGLISH y NAVAID (1996), es necesario considerar ciertos factores que son capaces de determinar el éxito en la aplicación de una estrategia de RDC y que se pueden dividir en factores ambientales, como características del suelo, sistema de riego y clima, y en factores propios de las especies, como períodos críticos del cultivo, coincidencia entre crecimiento vegetativo, el fruto y la resistencia a la sequía.

GIRONA (1996) indica que el suelo es el factor más determinante sobre los resultados en las estrategias de RDC. Sobre esto, SÁNCHEZ-BLANCO y

TORRECILLAS (1995) afirman que es necesario que el suelo facilite la generación de un estrés hídrico en forma rápida y que también, permita a los árboles una rápida salida de este estado. En suelos profundos, con una mayor capacidad de retención de agua, las respuestas debieran ser mucho más lentas, tanto en la restricción como en el humedecimiento (SAAVEDRA, 2000).

Por otra parte, la pluviometría de la zona debe estar acorde con la estrategia de RDC, ausencia de precipitaciones durante el periodo de restricción hídrica, es lo ideal (SÁNCHEZ-BLANCO y TORRECILLAS, 1995).

Haciendo referencia a los factores propios de las plantas, BOZZOLO (1993) señala que las etapas críticas del cultivo, son aquellas de la fenología del palto, en que cualquier desbalance hídrico provocará una merma en las cosechas o calidad de éstas.

LOVATT (1990) establece que los episodios de floración y fertilización son los periodos más críticos del palto al déficit hídrico. Según WHILEY, CHAPMAN y SARANAH (1988), los paltos aumentan sus requerimientos hídricos al aumentar su área foliar (funcionalmente evaporativa), gracias al primer crecimiento vegetativo y floración. También indican que un inadecuado abastecimiento hídrico durante la floración provocará la deshidratación de la cubierta epidermal de las panículas, generando daños irreversibles a los órganos florales.

Las inflorescencias son menos eficientes que las hojas en retener agua, la pierden con facilidad o la entregan a las hojas adyacentes, de esta manera, desarrollan antes una situación de estrés hídrico (SCHAFFER y WHILEY, 2002). Pero, en primavera, no sólo aumenta la demanda de agua, también aumenta la capacidad de absorción de agua por las raíces, gracias a un incremento progresivo de la temperatura del suelo (WHILEY, 1990). ZAMET (1995) señala que un incremento en la temperatura de 1,5°C. podría aumentar hasta en un 50% la actividad radicular.

En el caso del palto, el desarrollo general del árbol está íntimamente relacionado con las tasas de riego que se aplican; LAHAV y WHILEY (2002) indican, que el volumen de la canopia responde directamente al régimen de riego: altamente, en la variedad Ettinger; medianamente, en Hass; y muy bajo, en Fuerte.

Por su parte, MICHELAKIS *et al*, (1993) afirman que existe una fuerte correlación entre el número de raíces y el agua aplicada.

Según SHOLEFIELD *et al*, (1980), la restricción hídrica para paltos debe ser moderada, ya que la baja conductancia de vapor genera un menor intercambio gaseoso, lo que se traduce en serios efectos negativos para la fotosíntesis.

LAHAV y KALMAR (1977) informan que, al restringir el riego en palto, también se restringen los crecimientos vegetativos, disminuyen los calibres y, por ende, la producción.

Tratamientos de riegos deficitarios podrían adelantar la segunda caída de frutos, pero no modificar su magnitud (VILLABLANCA, 1994). WHILEY (1990) señala que durante la segunda caída de fruta, un buen riego aminoraría el impacto del ajuste de carga en la producción final. Por otra parte, una restricción hídrica durante el estado crítico de desarrollo del fruto, se relaciona con desórdenes fisiológicos de éste, como por ejemplo el Ring-Neck y también existe evidencia de que frutos de Hass provenientes de árboles con estrés hídrico, son significativamente más alargados que los frutos de árboles regados normalmente (SCHAFFER y WHILEY, 2002).

SEDGLEY, SHOLEFIELD y ALEXANDER (1985) indican que, en el caso del palto, no es fácil concluir respecto a resultados de tratamientos de riego deficitario, tanto por su patrón de comportamiento productivo bianual, como por los aportes hídricos de las lluvias invernales, que enmascaran los efectos del riego.

Pese a lo anterior, TELLO (1991) señala que los mejores resultados en crecimiento vegetativo, desarrollo y calidad de frutos se lograrían con riegos dentro de ciertos límites (70 a 90% de la  $ET_c$ ), para las condiciones de Quillota.

LAHAV y KALMAR (1983), usando RDC, concluyen que las restricciones de riego en primavera y otoño no aumentan la productividad en palto, pero se pueden obtener cosechas similares, con igual calidad y volumen.

En un ensayo realizado en California, se probaron distintas láminas de riego respecto de la  $ET_0$  durante cuatro años, los porcentajes de restricción fueron de: 37, 46, 63, 70, 75, 100 y 111%. La producción anual acumulada no fue afectada tan severamente, lo que sí mostró una diferencia significativa fue el volumen de la canopia. Los árboles bajo 46% de la  $ET_0$  presentaron una canopia mucho menos abundante (FABER, ARPAIA y YATES, 1995).

Según MEYER *et al* (1990), no se encontraron diferencias significativas en las cosechas con respecto a tratamientos de riego del 80, 100 y 120% de la  $ET_c$ , sin embargo, la cosecha acumulada de tres años sí se vio incrementada con el tratamiento de 120%.

Entre los años 1991 y 1994, THORNHILL–SIENA efectúa un ensayo en que se aportaba entre un 37% y 185% de la  $ET_c$ , con frecuencia semanal, no se observan diferencias en las cosechas anuales ni acumuladas, sin embargo, los árboles con mayor porcentaje de  $ET_c$  aplicado, terminaron altamente emboscados. (CARDEMIL, 1999).

En Chile, SAAVEDRA (2000) determina que aplicando un 75% de la  $ET_c$ , regado con un sistema de microaspersión, durante toda la estación de riego, es posible aumentar la eficiencia del agua, sin alterar el crecimiento vegetativo ni la producción en calidad y cantidad. La aplicación de un 50% de la  $ET_c$  mediante riegos diarios no reduce la producción total, pero sí se afectó la distribución de calibres en ella.

Por su parte, MONTEDÓNICO (2001), también en Chile, indica que el menor perjuicio sobre el calibre de la fruta se produce aplicando una restricción, entre febrero y abril, de 50% de la lámina de riego total.

#### 2.4. Determinación del estatus hídrico a través del potencial hídrico:

Hasta ahora, en la mayoría de los programas de riego, los cálculos tratan de determinar valores que relacionan el estado del agua en el suelo con el estado del agua en la atmósfera; sin embargo, no se ha logrado involucrar de manera cuantitativa las respuestas metabólicas de las plantas al riego (RESTREPO, 1999).

Existen evidencias cada vez más fuertes que indican que el crecimiento de las plantas y su producción están ampliamente controlados por el déficit de humedad atmosférico y sólo indirectamente por el déficit hídrico del suelo (RESTREPO, 1999).

De acuerdo a esto, SELLES, FERREYRA y MALDONADO (2002) sugieren que más apropiado que medir el estado hídrico del suelo, es evaluar el estado hídrico o estatus hídrico de las plantas. El estado hídrico de las plantas es la cuantificación de la condición hídrica de la planta, éste determina un amplio rango de procesos fisiológicos de desarrollo y producción, y está definido por la cantidad de agua disponible en el suelo que explora el sistema radicular, por la demanda evaporativa de la atmósfera y por la suma de las resistencias al flujo del agua a través del vegetal (TAIZ-ZEIGER, 1998; SALISBURY, 1992; HSIAO, 1990; SPOMER, 1985).

Es posible determinar el estatus hídrico de las plantas a través de la medición del potencial hídrico (SCHAFFER y WHILEY, 2002). MEYER y REICOSKY (1985) indican que mediciones del potencial hídrico ( $\psi$ ), se pueden usar para interpretar el déficit de riego en las plantas.

El potencial hídrico ( $\psi$ ) se define como el potencial químico del agua en un sistema o parte de un sistema, expresado en unidades de presión, comparado con el potencial químico del agua pura a igual altura y temperatura (SALISBURY, 1992)

El potencial químico del agua es una expresión cuantitativa de la energía libre asociada con el agua y el potencial hídrico ( $\psi$ ). Es, entonces, una medida de energía libre del agua por unidad de volumen. Las unidades de energía son equivalentes a unidades de presión, como el Pascal, Bar, m.c.a., entre otros, que corresponden a cómo se valoriza normalmente el  $\psi$  (TAIZ-ZEIGER, 1998).

SPOMER (1985) define al  $\psi$ , como la habilidad físico química del agua para participar en el funcionamiento de las plantas y determinar la tendencia del movimiento de esta agua líquida dentro del sistema.

Por su parte, SCHAFFER y WHILEY (2002) lo definen como una medida de la energía libre del agua y que está formado por la suma de tres componentes principales: potencial osmótico ( $\psi_{\pi}$ ), que es una medida de solutos disueltos en la célula, el potencial de turgor ( $\psi_p$ ), resultando de la presión hidrostática ejercido en las células hacia sus paredes, y el potencial mátrico ( $\psi_m$ ), que es una medida de las fuerzas adhesivas entre las moléculas de agua y la matriz que las envuelve.

$$\Psi = \psi_{\pi} + \psi_p + \psi_m$$

La medida de la energía libre del agua radica en las fuerzas atractivas que actúan en un líquido, entre las moléculas y que pueden expresarse como un cambio en la energía interior del líquido dividido por el cambio de volumen de este (STEUDLE, 2001).

Por su naturaleza polar, el agua es atraída hacia muchas sustancias, como, por ejemplo, hacia las proteínas y polisacáridos de la pared celular, que también son

polares. Esta atracción entre moléculas distintas se conoce como adhesión, se forman puentes de hidrógeno entre las moléculas de agua y las otras sustancias. La atracción entre moléculas semejantes se denomina cohesión. Esta atracción le confiere al agua resistencia ténsil, o sea, capacidad de resistir estiramiento (tensión), sin romperse (TAIZ-ZEIGER, 1998).

La fuerza tensora del agua puede calcularse a base de la energía de los enlaces de hidrógeno que poseen sus moléculas por unidad de volumen molar del líquido, obteniendo valores de presión entre los 50 y 1400 Mpa, dependiendo de la temperatura y composición del agua. (STEUDLE, 2001).

Como se menciona anteriormente y es sostenido por SELLES y FERREYRA (1999), entre los principales factores que determinan el  $\psi$ , están, la tasa transpiratoria, la sumatoria de las resistencias hidráulicas en la planta y el contenido de humedad del suelo, siendo la transpiración, la más importante de ellas.

El fenómeno de la transpiración es de vital importancia para las plantas, tanto para propiciar el intercambio gaseoso, fijar  $\text{CO}_2$  atmosférico y producir biomasa, como para lograr el enfriamiento de las hojas y planta en general.

Este fenómeno se produce gracias a que el aire seco posee una gran capacidad para absorber vapor de agua y, a medida que la humedad relativa del aire disminuye por debajo del 100%, la afinidad del aire por el agua aumenta notablemente (TAIZ-ZEIGER, 1998).

El agua se mueve en la planta en una vía de ascenso, que va, desde el suelo, a través de epidermis, corteza y endodermis, hasta los tejidos vasculares de la raíz, desde donde sube por los vasos conductores del xilema hasta las hojas y, finalmente, pasa por los estomas hacia la atmósfera por transpiración (SALISBURY, 1992).

Como ejemplo se ha establecido que, a 20°C y una humedad relativa del 98%, el potencial hídrico del aire disminuye hasta cerca de los  $-2,72\text{Mpa}$  y esto es suficiente para elevar una columna de agua hasta una altura de 277m. Como el agua del suelo, disponible para las plantas, rara vez alcanza un potencial hídrico menor a  $-1,5\text{Mpa}$ , no es necesario que el aire esté muy seco para generar un adecuado gradiente de potencial hídrico desde el suelo a través de la planta y hasta la atmósfera (TAIZ-ZEIGER, 1998).

Efectivamente el agua se mueve a través de las plantas gracias a un gradiente de potenciales hídricos desde lugares de alto potencial hídrico hacia zonas de bajo potencial o energía libre (SPOMER, 1985). La ya mencionada fuerza de cohesión del agua es tan grande, que cuando por transpiración se produce un vacío o succión del agua en el xilema, esta tracción (tensión) se transmite por todo el trayecto hacia abajo, a través del tronco y genera el ingreso de agua desde el suelo hacia las raíces (STEUDLE, 2001).

SHOLANDER *et al*, (1965) determinan que la gran resistencia ténsil del agua, sumada a la dimensión de los capilares del sistema conductivo del xilema, impiden que se produzca cavitación (rompimiento de la columna de agua ascendente), aun cuando el ascenso sea por sobre los 10m. Esto ha sido confirmado recientemente por TOMOS y LEIGH (1999).

El segundo factor de importancia en el potencial hídrico es la resistencia al flujo hídrico que presentan las plantas (SCHAFFER y WHILEY, 2002). STEUDLE (2001), indica que el complejo suelo-planta-atmósfera se puede representar como una red de resistencias al flujo del agua colocada en serie y en paralelo.

HSIAO (1990) señala que la densidad de raíces y su distribución generan la principal resistencia al flujo hidráulico en los árboles de palto.

SCHAFFER y WHILEY (2002) afirman que los paltos poseen un ineficiente sistema de absorción y transporte de agua, definido por su sistema radicular que es superficial y muy suberizado, lo que aumenta la resistencia al flujo hidráulico.

Es posible tener una aproximación del potencial hídrico ( $\psi$ ) a través de una cámara de presión o bomba de Sholander, la que, en palabras muy simples, mide la tensión a la que está sometida la savia en el xilema (SHACKEL, 2001).

La cámara de presión corresponde a una cápsula metálica con diversos diseños y capacidades (volumen), que puede cerrarse herméticamente (KAUFMAN, 1968). A través de la tapa de esta cápsula, la cual posee un orificio capaz de adaptarse a un cilindro irregular, se hace pasar el pecíolo de una hoja, quedando ésta hacia el interior de la cámara y el extremo del pecíolo cortado, hacia el exterior (KAUFMAN, 1968).

La medición consiste en aplicar gas al interior de la cámara y cuantificar la presión que se alcanza al interior de ésta, en el momento en que aflora savia por el extremo del pecíolo cortado (TAIZ-ZEIGER, 1998).

Cuando una hoja, que está activamente transpirando, se corta, la tensión en el xilema decae bruscamente y se iguala a la presión atmosférica, causando la paralización del agua al interior de la hoja y en las células del tallo (STEUDLE, 2001).

El estado original de vasos funcionando completamente llenos se puede restaurar, gracias a la aplicación de gas a presión. Cuando los vasos se vuelven a llenar con solución xilemática, la compensación con el gas es igual a la presión en el xilema (STEUDLE, 2001).

La cantidad de presión que se necesita para que el agua aparezca por el pecíolo, indica cuál es la tensión que el agua, en la hoja, está experimentando: Un alto valor

de presión corresponde a una alta tensión y a un alto grado de estrés hídrico (SHACKEL, 2001).

La cámara de presión es un instrumento muy usado en el mundo a nivel de predio y en investigación para medir el  $\psi$  desde las hojas de las plantas (MEYER y REICOSKY, 1985).

TOMOS y LEIGH (1999) han realizado gran cantidad de ensayos para determinar la efectividad de la cámara de presión, sus resultados han confirmado la habilidad de la bomba de Sholander para medir, con exactitud, tensiones de la savia en las plantas.

Pero la medición del  $\psi$ , mediante la cámara de presión, es sólo una muy buena aproximación al verdadero valor de éste, ya que está formado por la suma de los potenciales osmótico, mátrico y de presión. Pues bien, el potencial mátrico ( $\psi_m$ ), ejerce una gran influencia en el movimiento de agua en el suelo, sin embargo, en las plantas, dentro del xilema, es despreciable o insignificante. El potencial osmótico ( $\psi_\pi$ ) generalmente es muy bajo, por lo tanto, también se desprecia, finalmente el potencial hídrico ( $\psi$ ) es similar al potencial de presión ( $\psi_p$ ) y este último puede ser fácilmente medido sobre tallos u hojas (SCHAFFER y WHILEY, 2002).

Efectivamente, el  $\psi$  medido usando la cámara de presión, puede representar la tensión del agua en las hojas o en el xilema, en ambos casos, se utilizan hojas o brotes como elementos de medición (SHACKEL, 2000).

Es posible medir el  $\psi$  a una hoja inmediatamente después de cortarla, o bien, medirlo en una hoja previo un tratamiento que busca estabilizar y equilibrar el potencial hídrico de la hoja con el del tallo y elementos del xilema (MEYER y REICOSKY, 1985).

Las hojas se cubren una a dos horas antes para prevenir la pérdida de agua por transpiración y permitir el equilibrio y estabilización entre la hoja y la rama que la sostiene, a esta medición se le llama potencial hídrico xilemático ( $\psi_x$ ), y cuando se mide sin cubrir o al cubrir y medir inmediatamente, se denomina potencial hídrico de la hoja ( $\psi_h$ ). Este último es menos sensible a la falta de humedad del suelo, pero más influenciado por las condiciones ambientales (SELLES, FERREYRA y MALDONADO, 2002). MEYER y REICOSKY (1985), encontraron grandes diferencias entre mediciones del ( $\psi_x$ ) y mediciones del ( $\psi_h$ ).

SHACKEL (2001) señala y recomienda la gran ventaja de medir el potencial hídrico xilemático ( $\psi_x$ ), dada por la importante uniformidad de los datos, sin tener mucha relevancia el tipo, tamaño y condición fisiológica de las hojas, sólo la altura de ellas tiene un pequeño efecto sobre los valores medidos.

Un aspecto importante que se debe tener en cuenta es la sanidad del sistema radicular, una pobre sanidad causará que el potencial hídrico xilemático ( $\psi_x$ ), sea más negativo que el de plantas sanas, generando un error al momento de analizar los datos (SHACKEL, 2001).

Esta aseveración tiene particular importancia en el caso del palto, ya que las condiciones de saturación de humedad en el suelo predisponen al palto al ataque de *Phytophthora cinnamomi*, agente causal de la enfermedad, conocida comúnmente como "tristeza de los paltos" (WHILEY *et al*, 1986a). En árboles con pudrición severa, el  $\psi$  es similar al de árboles con un gran estrés por falta de agua. Además los árboles, cuyo sistema radical es afectado por este hongo, son más susceptibles a un estrés hídrico por el deficiente sistema radicular que poseen (WHILEY *et al*, 1986b).

Otro factor importante es la hora a la que se hará la medición del potencial hídrico, SHACKEL (2001) recomienda medir siempre entre las 14 y las 16 horas, que es cuando los árboles alcanzan los menores valores de  $\psi$ .

Confirmando esta idea, UGARTE (1996) encontró un patrón de comportamiento diurno del potencial hídrico, donde los menores valores (-5,0 a -14 bar) se alcanzaron entre las 12 y 16 horas y los valores más altos (indicando menos estrés), de entre -2,7 y -7,2 bar, se obtuvieron en las mañanas, entre la 06 y 12 horas.

#### 2.5. Respuestas de las plantas al déficit hídrico y la acumulación de prolina:

Los mecanismos que usan las plantas para responder a la falta de agua, tienen gran importancia para un correcto diseño de estrategias de RDC (SÁNCHEZ-BLANCO y TORRECILLAS, 1995).

Estos mecanismos se presentan, en gran cantidad y variedad, dependiendo de las especies. El cierre estomático, un aumento en la exploración del suelo por las raíces y el ajuste osmótico, son algunas de las reacciones de las plantas frente a un déficit hídrico (TAIZ-ZEIGER 1998; BRAY, 1997; HSIAO, 1990).

STERNE, KAUFMANN y ZENTMYER (1977) dicen que los estomas de palto responden al menos a cuatro factores: nivel de radiación, potencial hídrico, diferencia de humedad absoluta entre la hoja y el aire, e historial de estrés hídrico del árbol.

HSIAO (1990) indica que a mayor  $\psi$ , mayor es la apertura estomática y mayor el intercambio gaseoso y fijación de  $\text{CO}_2$ , mientras que a menor  $\psi$ , disminuye la apertura de los estomas, baja la tasa transpiratoria, disminuye la fotosíntesis y decae la producción de materia seca.

Con respecto al aumento de la exploración del suelo, LAHAV y KALMAR (1977) señalan que al aumentar el intervalo entre riegos en huertos de palto, la actividad de las raíces de este frutal aumenta en las estratas que están en una profundidad mayor a los 60cm.

Aparte de la exploración de estratas profundas, las raíces también emiten señales químicas capaces de mantener el cierre estomático y, si la condición de estrés se prolonga, se inducen procesos de defoliación, para disminuir la superficie evapotranspirante (WILLIAM, FRANCOIS y TREJO, 1994).

Estos procesos de defoliación, como estrategia para evitar un desarrollo pleno del árbol ante situaciones adversas, tienen su origen en que, en una situación de estrés hídrico, el crecimiento de los brotes disminuye, esto genera una disminución en la síntesis de proteínas, dejando a libre disposición amonio ( $\text{NH}_3\text{-NH}_4^+$ ). El palto, al igual que muchas otras especies, tiene la facultad de detoxificar el exceso de amonio a través de la biosíntesis de arginina, pero, cuando la detención del crecimiento se produce por una situación de estrés, este mecanismo no funciona y las altas concentraciones de amonio en los órganos del palto, provocan la muerte celular de hojas y brotes, lo que puede derivar en una abscisión prematura de hojas, disminuyendo la capacidad fotosintética de los árboles y, posteriormente, la capacidad productiva (LOVATT, 1987).

Finalmente, está el ajuste osmótico, que es definido por TAIZ-ZEIGER, (1998); TURNER, (1997); BRAY,(1997), como la habilidad de ciertas especies de plantas para acumular activamente, al interior de las células, ciertos solutos frente a un déficit hídrico, este mecanismo permite mantener un alto potencial de turgencia, aun cuando exista un descenso en el potencial hídrico.

El ajuste osmótico es posible gracias a la síntesis de osmoreguladores, que son solutos compatibles con la actividad celular y que pueden acumularse en altos niveles, sin generar trastornos en el funcionamiento de éstas (BRAY, 1997).

Dentro de los osmoreguladores, podemos encontrar azúcares, alcoholes, compuestos amoniacales y aminoácidos (BRAY, 1997).

Uno de estos osmoreguladores y que también corresponde al más estudiado es la prolina, que es un aminoácido presente en una gran cantidad de especies (NOLTE, HANSON y GAGE, 1997).

La prolina es principalmente sintetizada a partir de L – Ácido Glutámico, vía  $\Delta^1$ -prolina – 5 – Carboxilato, (P5C). Esta reacción es catabolizada por dos enzimas, la P5C sintetasa (P5CS) y la P5C reductasa (P5CR) (TROTEL–AZIZ *et al*, 2003).

Este aminoácido se acumula en los tejidos en situaciones de estrés hídrico y, una vez aliviada la situación, es consumido por los mismos tejidos rápidamente, también es un compuesto transitorio de nitrógeno reducido (TROTEL–AZIZ *et al*, 2003).

El contenido del aminoácido prolina en hojas varía entre las diferentes especies y puede constituirse en un buen indicador del déficit hídrico, al cual ha sido sometida una planta. La acumulación de prolina está asociada a una constante pérdida de la capacidad de transporte del nitrógeno, lo que pone de manifiesto que esta acumulación es un síntoma claro de la respuesta al deterioro por el déficit hídrico (WEGNER *et al*, 1998).

Los cambios de hidratación que sufre un vegetal pueden correlacionarse con los cambios en los niveles de prolina de sus hojas (LATORRE, GODOY y ALBERDI, 2002).

BARRIENTOS, RODRÍGUEZ y ESPINOZA (1993) realizando ensayos de estrés hídrico en paltos cv. Hass en vivero, determinaron que los potenciales hídrico, osmótico y de turgencia, fueron semejantes bajo riego y sequía. Estos resultados se atribuyen a la acumulación del aminoácido prolina. Y a partir de ellos, concluyeron que, bajo condiciones de estrés hídrico, el palto es capaz de desarrollar el mecanismo de ajuste osmótico para mantener su equilibrio interno.

El conocimiento de las respuestas revisadas anteriormente es de gran utilidad, ya que, en base a ellas, se pueden determinar los niveles de estrés a que se pueden someter las plantas sin provocar daños permanentes (SÁNCHEZ-BLANCO y TORRECILLAS, 1995).

### 3. MATERIALES Y MÉTODOS

#### 3.1. Determinación del potencial hídrico bajo tratamientos de RDC:

##### 3.1.1. Ubicación del estudio:

El ensayo se realizó en la Estación Experimental La Palma, perteneciente a la Facultad de Agronomía de la Pontificia Universidad Católica de Valparaíso, en la comuna de Quillota, V Región de Chile, en los 32° 52' L.S. y los 71°13' L.O.

El suelo, según MARTÍNEZ (1981), pertenece a la serie La Palma y es de tipo sedimentario, profundo y de origen coluvial con textura superficial franco - arcillosa a arcillosa en profundidad; substrato de gravas y piedras con material intersticial de suelo, permeabilidad moderada, buen drenaje; plano, en posición de plano inclinado y microrrelieve ligeramente acentuado.

El estudio se estableció en un huerto de palto cv. Hass, injertado sobre patrón de semilla, variedad Mexícola, plantado el año 1998, a distancias de cuatro por seis metros y regado mediante un sistema de goteo.

##### 3.1.2. Descripción:

El estudio consistió en evaluar el potencial hídrico xilemático en árboles sometidos a tres láminas de riego, aplicadas en cuatro épocas del año (Cuadro 1).

CUADRO 1. Tratamientos RDC aplicados en el huerto.

Tratamientos	SEP	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	ABR
T0				100%				
T1				75%				
T2				50%				
T3			75%				100%	
T4			50%				100%	
T5		100%			75%		100%	
T6		100%			50%		100%	
T7			100%				75%	
T8			100%				50%	

Las láminas aplicadas se basaron en la evaporación de bandeja ( $E_b$ ), clase A USWB, ubicada en la misma estación experimental.

El tratamiento testigo (T0) fue regado con el 100% del requerimiento hídrico y, de acuerdo a éste, se establecieron los tratamientos del 75% y 50%, además de tres combinaciones de ellos aplicados en las diversas épocas.

Se aplicaron nueve tratamientos; el primero y segundo correspondieron al 75% y 50% del riego respectivamente, durante toda la temporada, mientras que los demás tratamientos abarcan las diferentes estaciones del año (primavera, verano y otoño).

Los tratamientos restrictivos se aplicaron en los distintos estados fenológicos del palto, según el modelo de restricción hídrica para palto, sugerido por AMPUERO (1998). Se generaron cuatro bulbos de mojado alrededor de cada árbol, a un metro de distancia desde el eje del tronco. Cada bulbo estuvo compuesto por dos goteros de cuatro y dos litros por hora (LPH), combinados según el tratamiento (Figura 1).

De esta forma, para el tratamiento de reposición del 100% de los requerimientos, cada bulbo de mojado entregó ocho LPH y estuvo compuesto por dos goteros de cuatro LPH cada uno. Para el tratamiento del 75%, en cada bulbo de mojado

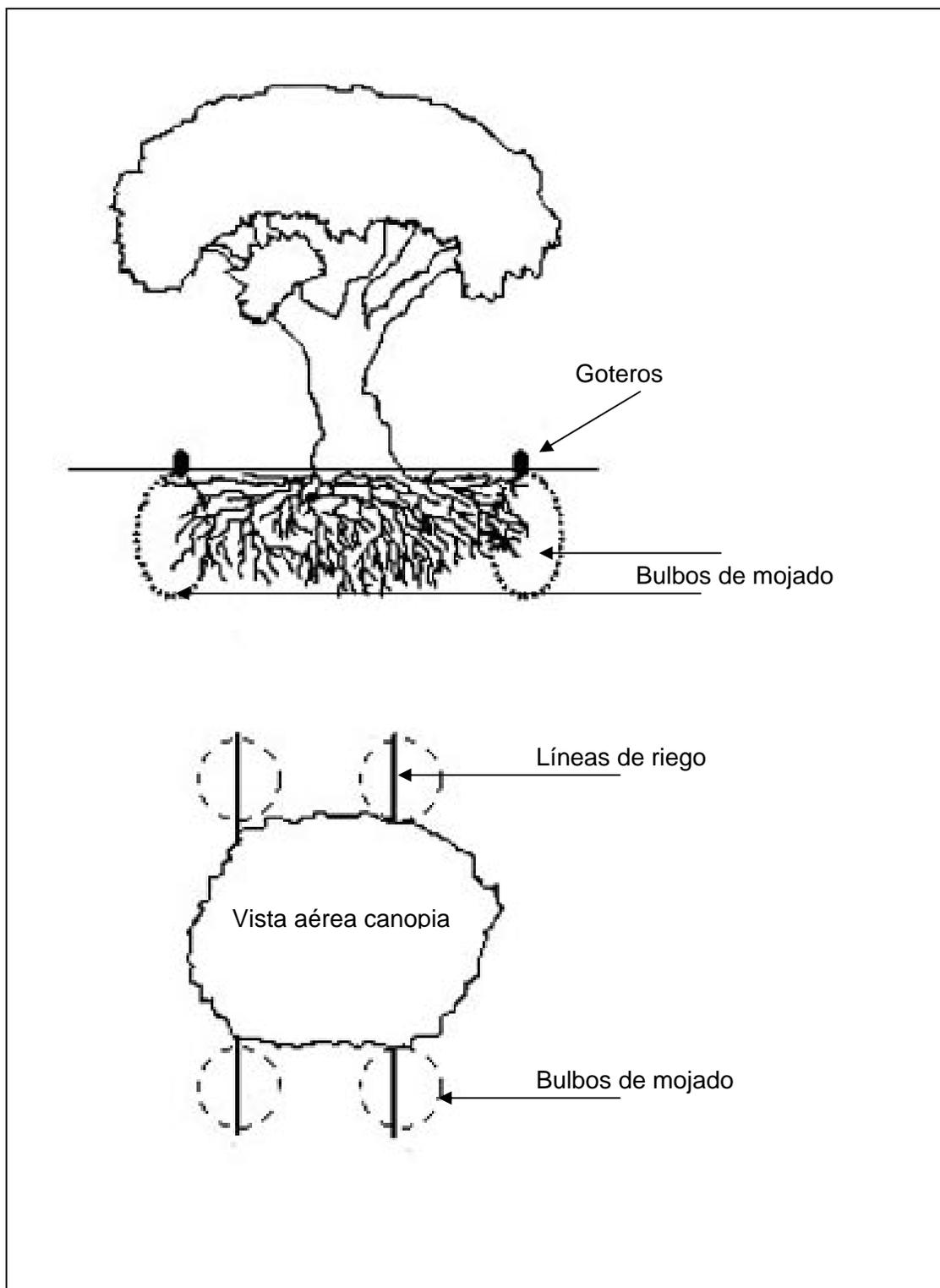


Figura 1: Distribución de los bulbos de mojamiento para cada árbol del ensayo.

se entregaron seis LPH y estuvo compuesto por un gotero de cuatro y un gotero de dos LPH. Finalmente, en el tratamiento de reposición del 50%, cada bulbo entregó cuatro LPH y estuvo compuesto por dos goteros de dos LPH cada uno (Cuadro 2).

CUADRO 2. Distribución de goteros y bulbos de mojamiento.

LÁMINA REPOSICIÓN (%)	DE N° 2LPH (Por bulbo)	Goteros N° 4LPH (Por bulbo)	Goteros Volumen en cada bulbo (Litros por hora)	Volumen total por árbol (Litros por hora)
100	0	2	8	32
75	1	1	6	24
50	2	0	4	16

### 3.1.3. Determinación del potencial hídrico xilemático:

La medición del potencial hídrico xilemático se realizó, utilizando una cámara de presión Arimad 2, la cual trabaja usando el principio desarrollado por SCHOLANDER *et al*, (1965).

Se midió el potencial hídrico xilemático en forma diaria, en dos periodos distintos durante 10 días cada periodo:

- Entre el 26 de Enero y 04 de Febrero del 2003.
- Entre el 24 de Febrero y 05 de Marzo del 2003.

Las mediciones se hicieron según lo descrito por MEYER y REICHOSKY (1985).

Para realizar las mediciones, se eligieron tres hojas maduras o tres brotes pequeños con hojas maduras por árbol, ubicadas en el tercio medio del árbol, hacia el interior de éstos y cercanas a alguna de las ramas principales.

Las hojas elegidas fueron cubiertas con un film plástico (polietileno transparente de 10cm x 30cm) y uno metálico (Alusa Foil), con esto, se logró detener el proceso de pérdida de agua por transpiración y reflejar la luz para disminuir la temperatura de la hoja. De esta forma, se iguala el potencial hídrico del brote u hoja con el del tallo que lo sostiene.

El procedimiento descrito anteriormente se realizó cada día de medición a partir de las 11:00 AM y, por lo menos, dos horas antes de la determinación del potencial hídrico.

#### 3.1.4. Registros:

Se obtuvieron registros sobre evaporación de bandeja clase A, láminas y frecuencias de riego de la Estación Experimental La Palma y registros de evapotranspiración (según Penman-Monteith), desde una estación meteorológica automática (marca LUF, modelo Opus II), ubicada aproximadamente a 800m del huerto del ensayo, al interior de la Facultad de Agronomía de la Pontificia Universidad Católica de Valparaíso.

#### 3.1.5. Diseño experimental:

El huerto del ensayo se dividió en cuatro bloques, cada uno de ellos correspondió a una hilera de árboles; en cada bloque, los tratamientos se distribuyeron completamente al azar, (BCA). A cada tratamiento, se le asignaron tres árboles, pero sólo se hicieron mediciones en el central para minimizar el efecto borde.

### 3.2. Sequía experimental:

#### 3.2.1. Descripción:

En una segunda etapa, se caracterizó la concentración de prolina en árboles sometidos a una sequía experimental, aplicando esta sequía a tres árboles del huerto durante 11 días, durante el período 08 de mayo y 19 de mayo de 2003. En estos árboles se midió: la concentración de prolina en las hojas, según lo descrito por LATORRE, GODOY y ALBERDI, (2002); el potencial hídrico mediante el procedimiento descrito anteriormente (MEYER y REICHOSKY ,1985) y la humedad volumétrica del suelo, a través de una sonda de capacitancia (Sentry 200). Todo ello en la búsqueda de una relación entre estas tres variables.

#### 4. PRESENTACIÓN Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS.

##### 4.1. Análisis de la aplicación del riego:

La programación del riego para el huerto en estudio, riego convencional realizado por la estación experimental, basado en las demandas evaporativas que dependen de las condiciones medioambientales y necesidades de uso de las plantas, aportó para el tratamiento testigo, (T0) un total de 539m<sup>3</sup>/ha durante el primer periodo y 213m<sup>3</sup>/ha, en el segundo periodo de medición.

El método usado para determinar las necesidades hídricas del cultivo, fue el de la bandeja evaporimétrica y sus estimaciones de  $E_{tc}$ , fluctuaron entre valores máximos y mínimos de 7,8mm/día y 5,4mm/día, para el primer periodo de mediciones y de 4,9mm/día y 3,1mm/día, para el segundo periodo (Anexo 1).

En la Figura 2, se muestra una comparación entre la  $E_{tc}$  estimada a través de la bandeja evaporimétrica, la  $E_{tc}$  calculada, según Penman-Monteith desde una estación meteorológica automática y las láminas de riego acumuladas para los dos periodos de medición.

Llama la atención la gran similitud que presentan las  $E_{tc}$  acumuladas de ambos métodos, sin embargo, en el 100% de los casos se advierte con claridad que los valores de  $E_{tc}$  obtenidos desde la estación meteorológica, son mayores que la  $E_{tc}$  proveniente de la evaporación de bandeja y, en algunos casos, esta diferencia puede alcanzar hasta 4mm diarios (Figura 2).

En líneas generales, la situación descrita anteriormente es similar a lo determinado por CARDEMIL (1999), al realizar una comparación entre los dos métodos para la zona de Quillota.

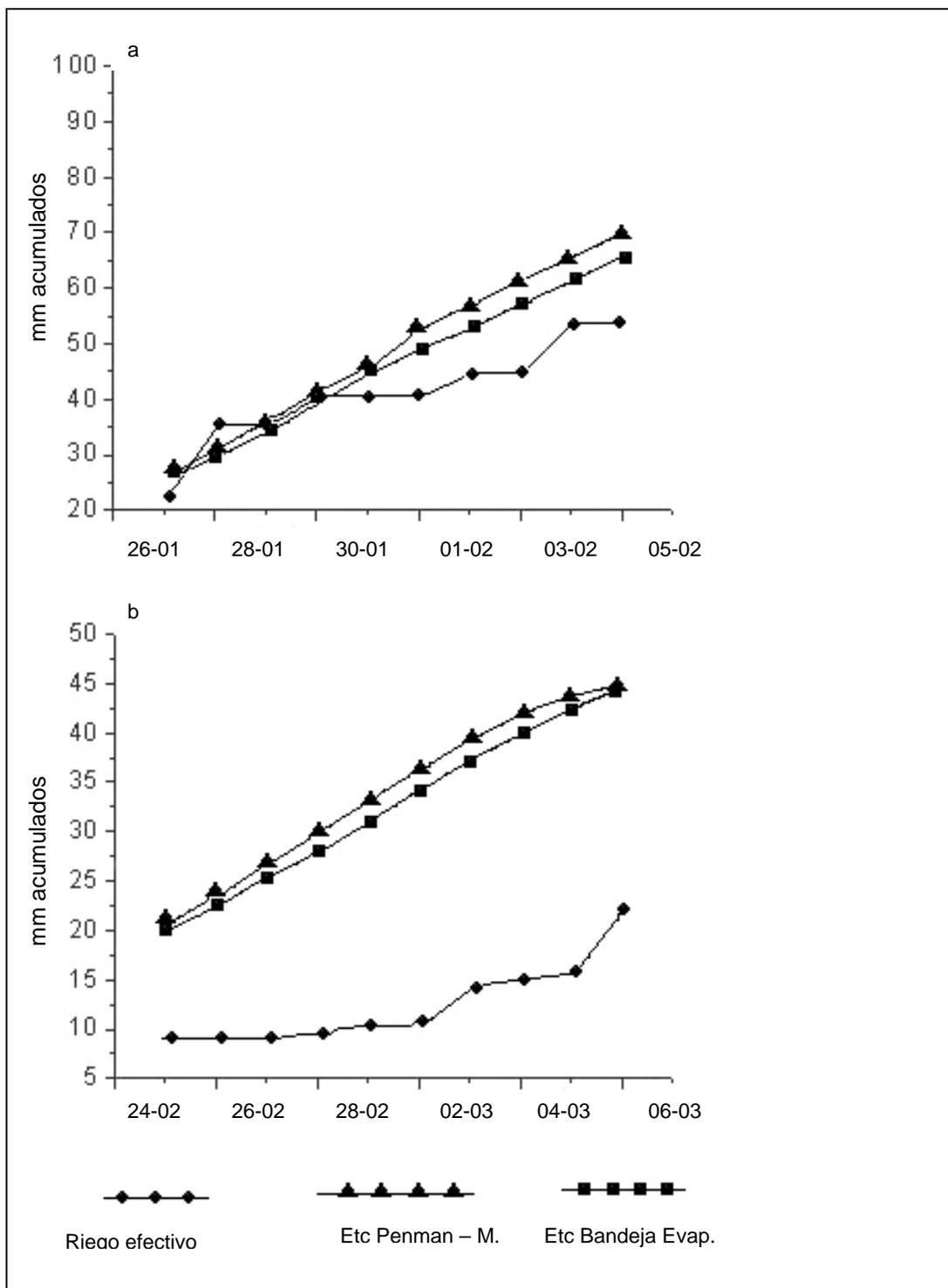


FIGURA 2.  $E_t$ , según bandeja evaporimétrica, ecuación de Penman-Monteith y láminas de riego acumuladas en el 1<sup>er</sup> (a) y 2<sup>do</sup> periodo (b).

Es posible apreciar que las láminas efectivas de riego, aplicadas durante ambos periodos de medición, fueron considerablemente menores a los requerimientos de la especie e insuficientes para satisfacer sus demandas hídricas. En promedio, se aplicó un 23,1% menos de agua en el primer periodo y un 52,6% menos, en el segundo (Figura 2).

Si analizamos con detención la Figura 2, podemos determinar que no hubo un error al estimar los requerimientos del cultivo, ya que la  $E_t$  de bandeja es muy similar a la estimada por Penman-Monteith, la diferencia entre requerimientos y riego efectivo se puede haber producido al interpretar la información de bandeja o por descuidos al realizar el riego.

#### 4.2. Análisis del potencial hídrico y ajuste osmótico:

No se observó diferencia estadística ( $p: 0,05$ ) en el potencial hídrico de los árboles, al regarlos con el 100%, 75% y 50% del agua aplicada al testigo, en distintos estados del ciclo fenológico.

Existió gran similitud en los valores del potencial hídrico entre tratamientos, los promedios diarios fluctuaron entre los  $-8,4\text{bar}$  y los  $-6,2\text{bar}$  para el primer periodo y, entre los  $-7,8\text{bar}$  y  $-6,1\text{bar}$ , para el segundo (Anexo 2).

Esto coincide ampliamente con los valores obtenidos por UGARTE, (1996). quien describe un patrón de comportamiento diurno para el potencial hídrico del palto en la zona de Quillota, donde los menores valores se registran entre las 12 y 16 horas y alcanzan cifras entre  $-4$  y  $-14$  bar, mientras que los mayores valores son medidos en las mañanas, con  $-2,7$  y  $-7,2$  bar.

Según los valores obtenidos, en ningún tratamiento es posible evidenciar estrés hídrico ni cierre estomático por esta razón, esto de acuerdo a lo planteado por

FERREYRA y SELLES, (2000); WHILEY, CHAPMAN y SARANAH (1988) y STERNE, KAUFMANN y ZENTMYER (1977) quienes afirman que el cierre estomático es el primer indicador de estrés por falta de agua y que, para el caso del palto, se produce con potenciales hídricos entre los  $-10$  y  $-15$ bar (Anexo 3).

De acuerdo a lo anterior, los árboles estarían en condiciones normales de riego, ya que el potencial hídrico se mantiene dentro de una banda que fluctúa entre  $-3,6$  y  $-9,0$ bar, con lo que se produce una mínima variación de la fotosíntesis neta, de entre  $19,7$  a  $16,7$   $\text{mg CO}_2 \text{ cm}^{-1} \text{ S}^{-1}$  (WHILEY, CHAPMAN y SARANAH, 1988) (Figuras 3 y 4).

Las Figuras 3 y 4 muestran la variación del potencial hídrico por tratamiento y por cada día de medición, se grafican los porcentajes de riego para cada tratamiento y el cambio de estos porcentajes a través del tiempo, según la planificación del ensayo, además, se muestra el momento en que se aplica cada riego al huerto y la frecuencia de éstos.

Al analizar estos gráficos, se puede estimar que no existiría variación del potencial hídrico que se pueda atribuir al cambio de las láminas de riego en un mismo tratamiento, además, la variación del potencial hídrico sería independiente del riego como evento y del volumen de agua aplicada en cada uno de estos riegos.

Situación similar a lo descrito por CONTADOR (1998), quien determinó una escasa relación del potencial hídrico con respecto a las láminas de riego aplicadas y una insignificante diferencia del potencial hídrico entre dos sistemas de riego distintos, microaspersión y goteo, aun cuando el aporte de agua en este último sistema fue mínimo, en un periodo de gran demanda atmosférica en la zona de Quillota.

Esta independencia del potencial hídrico a las láminas de riego, aun cuando en algunos casos éstas representaron un mínimo aporte a las necesidades del cultivo,

podría tener una respuesta en el hecho descrito por CONTADOR (1998) y VILLABLANCA (1994).

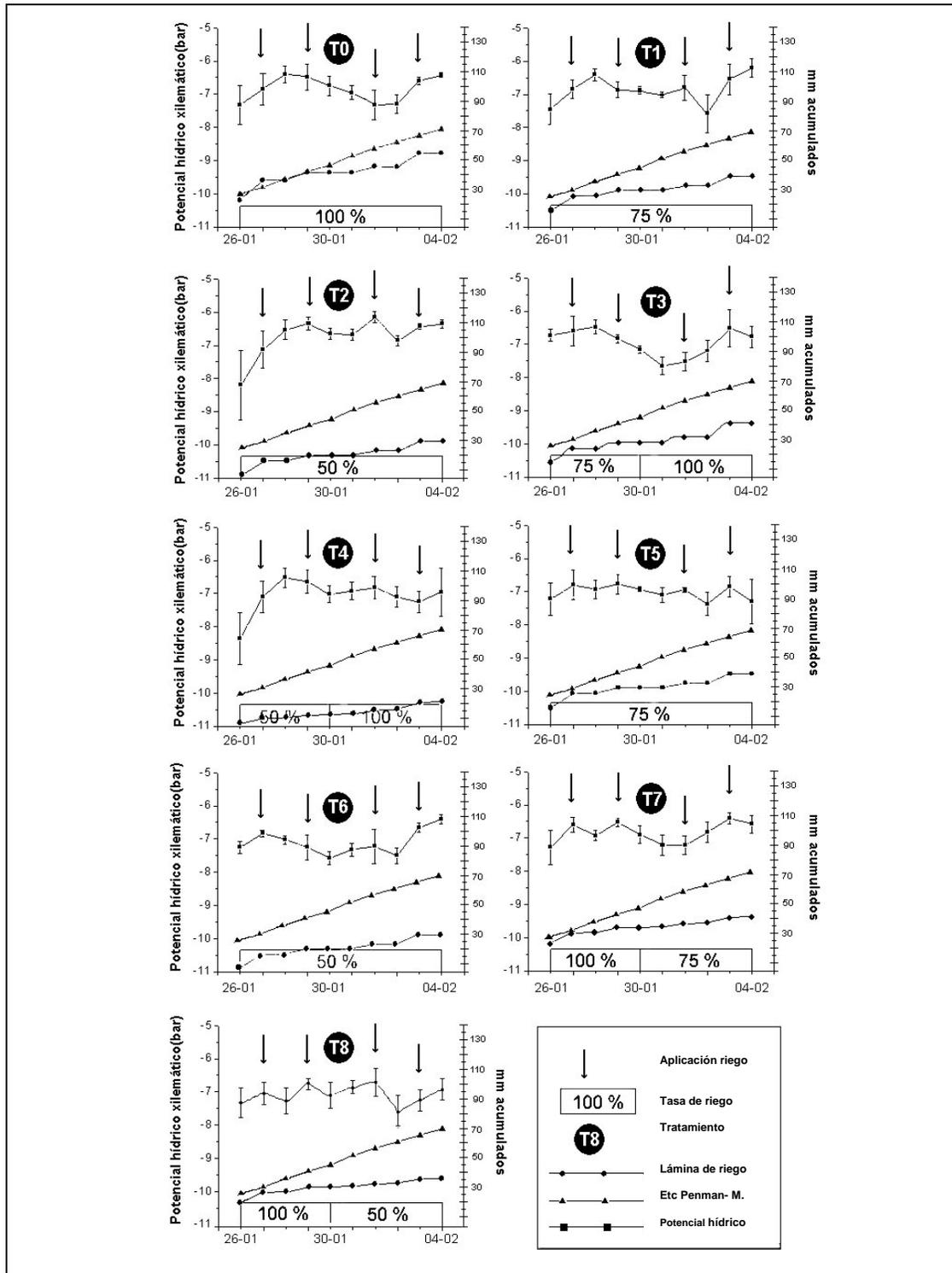


FIGURA 3. Variación del potencial hídrico, láminas de riego,  $E_t$  y frecuencia de riego para el primer período de medición.

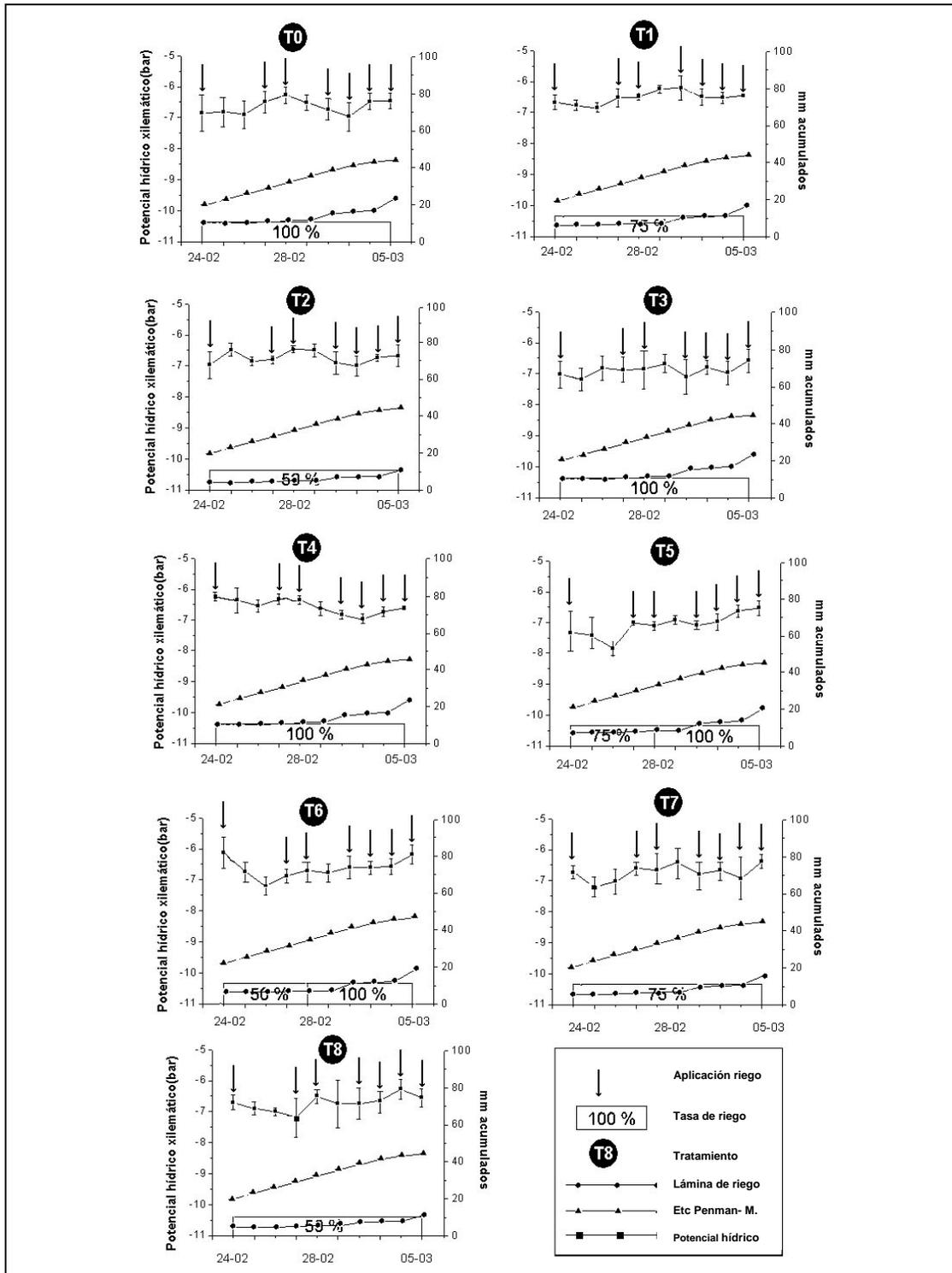


FIGURA 4. Variación del potencial hídrico, láminas de riego,  $E_t$  y frecuencia de riego para el segundo período de medición.

Estos autores sostienen que la distribución del agua, en un sistema de riego por goteo en el perfil del suelo, estimula el desarrollo radicular en el bulbo de mojado, tanto superficialmente como en profundidad, teniendo los árboles la posibilidad de extraer agua de estratas inferiores a lo que acostumbra el sistema radicular del palto.

Si a esto sumamos el análisis que SAAVEDRA (2000), hace sobre el huerto y su condición de suelo arcilloso y profundo, con gran capacidad de almacenamiento de agua, del que no se pueden esperar respuestas rápidas a las restricciones hídricas y más bien es de esperar que se produzca una inercia en la respuesta de las plantas a la variación de humedad del suelo. Podríamos suponer que estos árboles estarían extrayendo agua de estratas más profundas y, por ende, su desecación sería más lenta o prácticamente nula, sin experimentar estrés por falta de agua.

Pese a lo anterior, llama profundamente la atención, cómo, en la totalidad de los tratamientos, en ambos periodos de medición, se produce un comportamiento poco esperado del potencial hídrico. Cuando éste disminuye hasta cerca de los  $-7\text{bar}$ , se inicia un repentino aumento de su valor, indicando una recuperación del estado hídrico del árbol.

Esta situación tan poco predecible y completamente ajena a los tratamientos aplicados, podría tener su origen en dos situaciones y/o la combinación de ellas:

a) Por una parte, se debería a una respuesta retardada al riego, propiciada por un sistema radicular más profundo de lo habitual, que demoraría más tiempo en tener a disposición el agua de riego y tomaría uno a dos días en hidratar al árbol y recuperar los valores del potencial hídrico.

Esto se ve reflejado, por ejemplo, en el octavo día de medición del tratamiento uno. En él, es posible advertir cómo el potencial hídrico, después de caer hasta cerca de

los  $-7\text{bar}$ , se recupera, presumiblemente por el riego aplicado el día anterior (Figura 3).

A pesar de lo anterior, esta situación se produce en forma esporádica y no responde a un patrón de comportamiento concreto que respalde estos supuestos.

b) La segunda alternativa se refiere a una autorregulación osmótica o ajuste osmótico, a través de la acumulación de prolina en las células de las hojas, lo que impediría que el potencial hídrico baje por más de los  $-7$  a  $-8\text{bar}$ .

En la Figura 5, se presenta la variación del potencial hídrico, la humedad volumétrica del suelo a 30 y 60cm de profundidad y la concentración de prolina en las hojas del palto, al inicio y final de un periodo de 11 días de sequía experimental.

En esta Figura, se puede observar una predecible disminución de la humedad del suelo. En las primeras estratas, el agotamiento de agua es más rápido, lo que se atribuye a la evaporación directa desde el suelo y al consumo por parte de las raíces, mientras que, en la estrata de los 60cm, la desecación es mucho más lenta.

Con respecto al potencial hídrico, éste presenta el mismo patrón de comportamiento discutido anteriormente. En este caso, disminuye hasta cerca de los  $-6,8\text{bar}$  e inicia su recuperación sin un motivo aparente (Figura 5).

Durante los 11 días de sequía experimental, a la que fueron sometidos tres árboles del huerto, las concentraciones de prolina aumentaron en un 42% en promedio. (Cuadro 3).

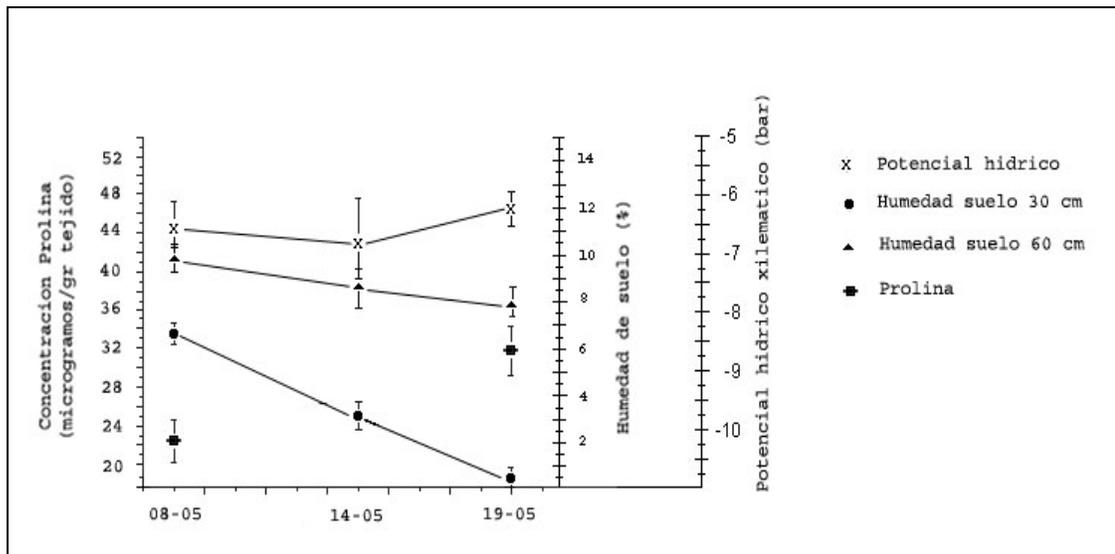


FIGURA 5. Variación del potencial hídrico, humedad volumétrica y concentración de prolina durante 11 días de sequía.

CUADRO 3. Cambio en las concentraciones de prolina (microgramos de prolina/gramo de tejido) durante 11 días de sequía inducida.

Fechas de medición	Repetición 1	Repetición 2	Repetición 3
08-05-03	24,14	18,01	24,85
19-05-03	36,64	29,50	28,70

A la luz de estos resultados, se podría suponer que se está en presencia de árboles con un cierto nivel de estrés y que el potencial hídrico estaría siendo influenciado por los efectos de la auto regulación osmótica, similar a lo descrito por BARRIENTOS, RODRÍGUEZ y ESPINOZA (1993) , quienes, estudiando las respuestas del palto a la sequía, señalan que la acumulación de prolina en las hojas evitaría la variación y disminución excesiva del potencial hídrico, a través de un mecanismo de auto regulación osmótica, manteniendo un equilibrio interno.

Por su parte, LABOREM, *et al* (1998) y URRIBARRI, ARAUJO y VILLALOBOS (1996) determinaron que los cítricos sometidos a una situación de sequía, aumentan sus concentraciones de prolina en las hojas, como un mecanismo de auto ajuste osmótico, con lo que logran mantener una aceptable turgencia de las células.

TROTEL–AZIZ *et al.* (2003) y WEGNER *et al.* (1998) señalan que la prolina podría constituirse en un buen indicador de estrés en las plantas, ya que, en situaciones de estrés hídrico, se acumula en los tejidos y, una vez aliviada la situación, es consumida por los mismos tejidos rápidamente como fuente de nitrógeno.

QUEZADA, ROMÁN y CASTAÑEDA (2001) indican que, cuando la prolina llega a células turgentes, es oxidada rápidamente a glutamato, por lo que plantas no estresadas deberían tener bajos niveles de prolina.

No obstante lo anterior, y completamente opuesto a lo descrito por BARRIENTOS, RODRÍGUEZ y ESPINOZA (1993), los autores TURNER, (1997); TAIZ-ZEIGER (1998) y BRAY (1997) señalan que el ajuste osmótico, en la mayoría de los casos,

genera una disminución o descenso en el potencial hídrico, ya que este ajuste se produce por una disminución del potencial de soluto, el que forma parte del potencial hídrico.

De acuerdo a esto, el aumento en las concentraciones de prolina en las células indicaría un déficit hídrico a este nivel, pero, dada la contraposición de información, no es posible afirmar, con argumentos dilucidantes que se estaría en presencia de un ajuste osmótico.

La total independencia del comportamiento del potencial hídrico no permite establecer relaciones entre éste y las láminas de riego aplicadas.

## 5. CONCLUSIONES

Los resultados obtenidos a partir del ensayo indicarían que:

- No es posible determinar una relación, entre las láminas de riego aplicadas bajo una estrategia de RDC y el potencial hídrico xilemático que presentan los árboles de palto.
- Ninguno de los tratamientos tuvo un efecto significativo en el potencial hídrico xilemático.
- No se registraron cambios significativos en el potencial hídrico, al cambiar las láminas de riego en un mismo tratamiento.
- Ninguna de las restricciones planteadas por el ensayo habría generado un estrés hídrico en los árboles.
- El potencial hídrico no habría sido un buen indicador del estrés hídrico del palto.
- La concentración de prolina aumentó en un 42% en promedio, indicando la existencia de un déficit hídrico en las células y generándose posiblemente un ajuste osmótico.
- No existen evidencias claras para establecer una relación entre los niveles de prolina y el potencial hídrico.

## 6. RESUMEN

Se han realizado algunos estudios de Riego Deficitario Controlado (RDC) en palto, sin lograr éstos, establecer diferencias significativas en parámetros de producción y crecimiento vegetativo, entre láminas de riego 100, 75 y 50% de las necesidades hídricas de la especie, aplicadas en distintas etapas del ciclo fenológico.

Esta situación motivó la búsqueda de relaciones entre láminas de riego restrictivo y el estrés hídrico, mediante la utilización del potencial hídrico xilemático como parámetro capaz de mostrar el real estado hídrico de las plantas y, con ello, verificar, en etapas posteriores, hasta que nivel de estrés es posible someter a los árboles antes de que estos presenten daños permanentes.

El ensayo se ubicó en la estación experimental La Palma, de la Pontificia Universidad Católica de Valparaíso, Quillota. El huerto en estudio correspondió a paltos, (*Persea americana* Mill.), cv Hass, plantados el año 1998 y regados mediante un sistema de goteo.

Los tratamientos contemplaron la aplicación de tres láminas de riego (100%, 75% y 50% de los requerimientos), durante toda la temporada, y restricciones del 75% y 50%, en diferentes momentos del ciclo fenológico de la especie, además de un periodo de 11 días de sequía experimental para tres árboles del huerto.

Se midió el potencial hídrico xilemático en dos periodos, con una duración de diez días cada intervalo. También se midió la concentración de prolina, la humedad del suelo y el potencial hídrico en árboles sometidos a sequía experimental.

El resultado indica que ninguno de los tratamientos tuvo un efecto significativo sobre el potencial hídrico xilemático. Aparentemente, bajo ningún tratamiento se produjo estrés hídrico, aun cuando, en la mayoría de los casos, el riego no cubrió las demandas hídricas del cultivo. Este parámetro se mantuvo independiente a las láminas de riego aplicadas.

Durante los 11 días de sequía experimental, el potencial hídrico también se mantuvo independiente a la falta de agua en el suelo y a la presumible disminución del potencial de soluto, provocada por el aumento de la concentración de prolina (42%) en las células de las hojas y que genera el denominado ajuste osmótico. Por estas razones y bajo las condiciones del ensayo, se considera que el potencial hídrico no fue un buen indicador del estado hídrico del palto.

Finalmente, no fue posible establecer una relación entre las láminas de riego restrictivas y el potencial hídrico xilemático.

## 7. LITERATURA CITADA

- ADATO, I. and LEVINSON, B. 1988. Influence of daily intermittent drip irrigation Avocado (cv. Fuerte) fruit yield and trunk growth. J. of Horticultural Sci. 63(4): 675-685.
- AMPUERO, J. 1998. Diseño de estrategias de riego deficitario controlado (RDC) para palto (*Persea americana* Mill) cv. Hass. Taller de Licenciatura. Ing. Agr. Quillota, Universidad Católica de Valparaíso, Facultad de Agronomía. 55p.
- BARRIENTOS, A.; RODRÍGUEZ, J. L.; ESPINOZA, J. L. 1993. Respuestas de las plantas de aguacate cv. Hass bajo sequía. Memoria. México, Fundación Salvador Sánchez Colín, S. C., pp 151-166.
- BOZZOLO, E. 1993. Aproximación a la determinación de los coeficientes de cultivo (Kc) en palto cv. Hass para la zona de Quillota. Taller de Licenciatura. Ing. Agr. Quillota, Universidad Católica de Valparaíso, Facultad de Agronomía. 80p.
- BRAY, E. 1997. Plant responses to water déficit. Trends in plant science rev. vol 2 (2): 48-54.
- CARDEMIL, G. 1999. Aproximación a los requerimientos hídricos del palto (*Persea americana* Mill) cv. Hass para la provincia de Quillota. Taller de Licenciatura. Ing. Agr. Quillota, Universidad Católica de Valparaíso, Facultad de Agronomía. 154p.
- CONTADOR, G. 1998. Caracterización de estatus hídricos del palto (*Persea americana* Mill), en función de la humedad disponible en el suelo, en dos tipos de suelo y dos sistema de riego. Taller de Licenciatura. Ing. Agr. Quillota, Universidad Católica de Valparaíso, Facultad de Agronomía. 23p.
- ENGLISH, M. y NAVAID, S. 1996. Perspectives on deficit irrigation. Agricultural Water Management. vol. 32(1): 1-14.
- FABER, B; ARPAIA, M. and YATES, M. 1985. Irrigation management of avocado. World Avocado Congress III. Tel Aviv, Israel. [http://www.avocadosource.com/cas\\_yarbooks/cas\\_78\\_1994/cas\\_1994\\_142.htm](http://www.avocadosource.com/cas_yarbooks/cas_78_1994/cas_1994_142.htm)
- GARDIAZÁBAL, F. 1998. Factores agronómicos a considerar en la implementación de un huerto de paltos. Seminario Internacional de paltos, V del Mar 4-6 de noviembre. pp 17-39.

- GIRONA, J. 1996. Estrategia de Riego Deficitario Controlado (RDC) para la mejora de la eficiencia en el uso de aplicación del agua de riego. *Fruticultura profesional* 80: 32-38.
- HERNÁNDEZ, F. 1991. Aproximación al ciclo fonológico del palto cv. Hass, para la zona de Quillota, V reg. Taller de Licenciatura. Ing. Agr. Quillota, Universidad Católica de Valparaíso, Facultad de Agronomía. 99p.
- HOLZAPFEL, E; FIGUEROA, G; VENEGAS, A. y MATTA, R. 1995. Requerimientos hídricos en manzanos adultos. *Agrociencia*. Vol. 11, N° 1: 49-54.
- HONORATO, R. 1997. Manual de edafología. Tercera Edición. Santiago. CIP-Pontificia Universidad Católica de Chile. 196p.
- HSIAO, T.C. 1990. Fisiología general. *In*: Curso internacional del manejo del agua en árboles frutales, Chillán 3-6 de enero. Depto. de Ingeniería Agrícola, Facultad de Ciencias Agronómicas, Veterinarias y Forestales, Universidad de Concepción.
- KANEMASU, E; ASAR, G and YOSHIDA, M. 1985. Remote sensig techniques for assessing water deficit and modeling crop response. *Hort. Sci.* 20(6): 1039-1043.
- KAUFMAN, M. R. 1968. Evaluation of the pressure chamber method for measurement of water stress in citrus. *Am. Soc. Hort. Sci.* 93: 186-190.
- LABOREM, G; WAGNER, M; MEDINA, G. y RANGEL, L. 1998. Efecto del patrón y la frecuencia de riego sobre el nivel foliar de prolina en el naranjo cv Valencia. <http://pegasus.ucla.edu.ve/ccv/revista/bioagro>
- LAHAV, E. and KALMAR, D. 1977. Water requeriments of avocado in Israel. Tree and soil parameters. *Aust. J. Agric. Res.* 28: 859-868.
- LAHAV, E. and KALMAR, D. 1983. Determination of the irrigation regimen for an avocado plantation in spring and autumn. *Aust. J. Agric. Res.* 34: 717-724.
- LAHAV, E. and WHILEY, A. 2002. Irrigation and mineral nutrition. *In*: WHILEY, A; SHAFFER, B. and WOLSTENHOLME, B. eds. *The avocado, botany, production and uses*. Wallingford. CABI Publisching. pp. 259-298.
- LATORRE, S.,GODOY, R. y ALBERDI, M. 2002. Métodos de ecología vegetal. Primera Edición. Temuco. Universidad Austral de Chile. pp 228-231.
- LOVATT, C. 1987. Stress. *California Avocado Society Yearbook* 71: 251-255.

- LOVATT, C. 1990. Factors affecting Frut set/early Fruit drop in Avocado. California Avocado Society Yearbook 95:193-199.
- LUKE, G; MOORHEAD, S; BURKE, K. and DEYL, R. 1995. Irrigation management on avocados on sandy soils in western Australia. Conference "The Way Ahead". Australian Avocado Growers Federation Inc.
- MARTÍN DE SANTA OLALLA, F. y VALERO, J. 1993. Agronomía del riego. Ediciones Mundi prensa, Madrid. 732p.
- MARTÍNEZ, A. 1981. Proyecto de implementación de un sistema de riego tecnificado en la Estación Experimental "La Palma". Taller de Licenciatura. Ing. Agr. Quillota, Universidad Católica de Valparaíso. Facultad de Agronomía. 102 p.
- MEYER, J; ARPAIA, M; YATES, M; TAKELE, E; BENDER, G. and WITNEY, G. 1990. Irrigation and fertilization management of avocados. California Avocado Society Yearbook.
- MEYER, W. and REICHOSKY, D. 1985. Eclosing leaves for water potential measurement and it effects on interpreting soil induced water stress. Agric. Meteorol. 35: 87 – 192.
- MICHELAKIS, N; KLAPAKI, G; VOUYOUKALOU, E. and BARBOPULU, E.1997. Effect of drip lines number on the water use, wetted soil volume and yield of avocados. Acta Hort. 449. vol. 1: 147-153.
- MICHELAKIS, N; VOUYOUKALOU, E. and KLAPAKI, G. 1993. Water use, wetted soil volume, root distribution and yiel of avocado under drip irrigation. Agricultural Water Manegement. 24: 119-131.
- MITCHELL, P.D; JERIE, P.H. and CHALMERS, D.J. 1984. Effects of regulated water deficits on pear tree growth, flowering, fruit growth and yield. J. Americ. Soc. Hort. Sci 109(5): 604-606.
- MONTEDÓNICO, J. 2001. Riego deficitario controlado en paltos cv Hass para la zona de Quillota. Taller de Licenciatura Ing. Agr. Quillota, Universidad Católica de Valparaíso, Facultad de Agronomía. 47 p.
- NOLTE, H. D; HANSON, A. D. and GAGE, D. A. 1997. Proline accumulation and methylation to proline betaine in citrus, implications for genetic engineering of stress resistance. J. Am. Soc. Hort. Sci. 122: 8-13.
- PRODECOP. 2001. Manual de producción de palto. La Serena. INIA-INDAP. 71 p.

- QUEZADA, R; ROMÁN, E. Y CASTAÑEDA, C. 2001. Transpiración, resistencia estomática y potenciales hídricos en manzano cv. Golden Delicious, injertado sobre portainjertos clonales. *Terra* 20: 113-121.
- RAZETO, B. 1999. Para entender la fruticultura. ed. Vértigo. 372p.
- RESTREPO, H. 1999. III Congreso Chileno de Ing. Agrícola, Chillán, 12, 13 y 14 de mayo. Agrocienza, Universidad de Concepción, mayo, 1999.
- SAAVEDRA, F. 2000. Ensayo de riego deficitario controlado en palto (*Persea americana* Mill), cv. Hass en la localidad de Quillota, Taller de Licenciatura. Ing. Agr. Quillota, Universidad Católica de Valparaíso, Facultad de Agronomía. 59p.
- SALGADO, E. 2000. Relación Suelo Agua Planta. Apuntes para la Cátedra. Universidad Católica de Valparaíso.
- SALGADO, E. 1990. Manejo del riego. Curso Internacional, Producción, Postcosecha y Comercialización de Paltas. Universidad Católica de Valparaíso Viña del Mar. 2-3-4, 5 de octubre de 1990. pp. il -il6.
- SALISBURY, F. 1992. Fisiología vegetal. Eds. Iberoamérica. México. 759p.
- SÁNCHEZ-BLANCO, M. J. y TORRECILLAS, A. 1995. Aspectos relacionados con la utilización de estrategias de Riego Deficitario Controlado en cultivos leñosos. In: ZAPATA, M. y SEGURA, P., eds. Riego Deficitario Controlado. Mundi prensa. Madrid,. pp 43-63.
- SCHOLANDER, P.F; HAMMEL, H.T; BRADSTREET, E.D. and HEMMINGSEN, E.A. 1965. Sap pressure in vascular plants. *Science*, 148: 339-346.
- SCHOLEFIELD, P.B.; WALCOTT, J.J.; KRIEDEMANN, P.E. and RAMADASAN, A. 1980. Some environmental effects on photosynthesis and water relations of avocado leaves. *California Avocado Society Yearbook* 64: 93-105.
- SCHROEDER, J; ALLEN, G; HUGOUIEUX, V; KWAK, J. and WANER, D. 2001. Guard cell signal transduction. *Annu. Rev. Plant Physiol. Plant Mol. Biol.* 52: 627-658.
- SEDGLEY, M; SCHOLEFIELD, P. and ALEXANDER, I. 1985. Inhibition flowering Mexican and Guatemalan Type Avocados under Tropical conditions. *Scientia horticultrae* 25(1):21-30.
- SELLES, G. y FERREYRA, R. 1999. Aproximación para determinar el momento oportuno del riego, ventajas e inconvenientes. *Chile riego* Vol. 1(dic.1999): 23-25

- SELLES, G; FERREYRA, R. y MALDONADO, P. 2002. Cámara de presión: instrumento para controlar el riego midiendo es estado hídrico de las plantas. [http://www.chileriego.cl/revista/rev11/rev11\\_11htm](http://www.chileriego.cl/revista/rev11/rev11_11htm)
- SHACKEL, K. 2000. Using the pressure chamber to monitor and manage irrigation in prunes. Fuit nut research information center. Crop Infromation. <http://fruitsandnuts.ucdavis.edu/prune-pressure.html>
- SHACKEL, K. 2001. The pressure chamber, a.k.a. "The Bomb". Fuit nut research information center. Crop Information. <http://www.fruitsandnuts.ucdavis.edu/pressure-chamber.htm>
- SHAFFER, B. and WHILEY, A. 2002. Enviromental physiology. In: WHILEY, A; SHAFFER, B. and WOLSTENHOLME, B. eds. The avocado, botany, production and uses. Wallingford. CABI Publisching. pp. 135-160.
- SPOMER, L. 1985. Techniques for measuring palnt water. Hortscience, vol 20(6): 1021-1028.
- STERNE, R; KAUFMANN,M. and ZENTMYER, G. 1977. Enviromental effects on transpiration and leaf water potential in avocado. Physiologia Plantarum. 41: 1-6.
- STEUDLE, E. 2001. The cohesion-tensión mechanism and the acquisition of water by plant roots. Annu. Rev. Plant Physiol. Plant Mol. Biol. 52: 847-875.
- TAIZ, L. and ZEIGER, E. 1998. Plant physiology. Segunda edición. Sunderland. Sinauer Associates. 792p.
- TAPIA, P. 1993. Aproximación al ciclo fenológico del palto cv. Hass, para la zona de Quillota, V reg. Taller de Licenciatura. Ing. Agr. Quillota, Universidad Católica de Valparaíso. Facultad de Agronomía. 141 p.
- TELLO, C. 1991. Efecto de volúmenes diferenciados de riego en el desarrollo vegetativo, producción y calidad de frutos de palto cv. Hass. Taller de Licenciatura. Ing. Agr. Quillota, Universidad Católica de Valparaíso, Facultad de Agronomía. 46p.
- TOMOS, A. and LEIGH, R. 1999. The pressure probe: a tool in plant cell physiology. . Annu. Rev. Plant Physiol. Plant Mol. Biol. 50: 447-472.
- TORO, M. 1995. Efectos del método de riego en la distribución espacial del sistema radical de paltos (*Persea americana* Mill.) cv Hass, en dos tipos de suelos. Taller de Licenciatura. Ing. Agr. Quillota, Universidad Católica de Valparaíso. 27p.

- TROTEL-AZIZ, P; NIOGRET, M; DELEU, C; BOUCHEREAU, A; AZIZ, A. and LARHER, F. 2003. The control of proline consumption by abscisic acid during osmotic stress recovery of canola leaf discs. *Physiologia Plantarum*. 117: 213-221.
- TURNER, N. C. 1997. Further progress in crop water relations. *Adv. Agronom.* 58: 293-338.
- UGARTE, M. 1996. Efecto del método de riego sobre el crecimiento y distribución de raíces en palto cv Hass en un suelo franco arcilloso. Taller de Licenciatura. Ing. Agr. Quillota, Universidad Católica de Valparaíso. 33p.
- URRIBARRÍ, L., ARAUJO, F., VILLALOBOS, R. 1996. Una metodología para la estimación del estrés hídrico en plantas de lima cv. Tahiti (Citrus x Tahiti). Instituto de investigaciones agronómicas. Universidad de Zulia, Venezuela.  
<http://www.redpav-fpolar.info.ve/fagroluz/v131/v131z005.html>
- VILLABLANCA, Y. 1994. Estudio de la distribución y densidad de raíces absorbentes en palto (*Persea americana* Mill.) cv Hass en función a los patrones de distribución uso-consumo del agua en el suelo evaluados bajo dos sistemas de riego presurizado (goteo y microaspersión). Taller de Licenciatura. Ing. Agr. Quillota, Universidad Católica de Valparaíso. 108p.
- WAGNER, M; LABOREM, G; MEDINA, G. y RANGE, L. 1998. Efecto del patrón y frecuencia de riego sobre el nivel foliar de Prolina en el naranjo cv Valencia. *Bioagro*. 10(3): 76-79.
- WHILEY, A.W.; PEGG, K.G.; SARANAH, J.B. and FOSBERG, L. 1986a. The control of Phytophthora root rot of avocado with fungicides and the effect of this disease on water relations, yield and ring neck. *Aust. J. Expr. Agric.* 26:249-253.
- WHILEY, A.W.; PEGG, K.G.; SARANAH, J.B. and FOSBERG, L. 1986b. The use of leaf xylem water potential to measure the impact of *Phytophthora* sp. root rot activity in avocado (*Persea americana* Mill.).
- WHILEY, A; CHAPMAN, K.R. and SARANAH, J.B. 1988. Water loss by floral Structures of Avocado (*Persea americana* Mill. cv. Fuerte) during Flowering. *Aust. J. Agric. Res.* 39: 457-467.
- WHILEY, A. W. 1990. Interpretación de la fenología y fisiología del Palto para obtener mayores producciones. Curso Internacional, Producción,

Postcosecha y Comercialización de Paltas. Universidad Católica de Valparaíso, Viña del Mar. 2-3-4, 5 de octubre de 1990. pp, el-e25.

WILLIAM, J; TARDIEU, F. and TREJO, C. 1994. How do chemical signals work in plants that grow in drying soil?. *Plant. Physiol.* 104: 309-314.

ZAMET, D. 1995. On avocado fruit size. *Avocado Society Yearbook* pp 211-222.

## **ANEXOS**

Anexo 1. Evaporación de bandeja clase A, registrada en la estación experimental La Palma.

Día	Evap Bandeja (mm)								
01-01-03	6,1	01-02-03	5,5	01-03-03	4,9	01-04-03	2,7	01-05-03	1,5
02-01-03	6,3	02-02-03	6	02-03-03	4,8	02-04-03	1,5	02-05-03	1,9
03-01-03	3,5	03-02-03	6,4	03-03-03	4,2	03-04-03	1,9	03-05-03	1,9
04-01-03	5,1	04-02-03	6,2	04-03-03	3,9	04-04-03	2,3	04-05-03	1,8
05-01-03	4,6	05-02-03	6,7	05-03-03	3,1	05-04-03	2,8	05-05-03	1,8
06-01-03	5,2	06-02-03	6,2	06-03-03	1,1	06-04-03	4,4	06-05-03	1,8
07-01-03	4,8	07-02-03	6,1	07-03-03	2,8	07-04-03	2,7	07-05-03	1,2
08-01-03	4,6	08-02-03	6,4	08-03-03	3,3	08-04-03	3,1	08-05-03	0,8
09-01-03	6	09-02-03	5,9	09-03-03	3,8	09-04-03	3,2	09-05-03	0,7
10-01-03	7,1	10-02-03	5,2	10-03-03	3,6	10-04-03	2,4	10-05-03	0,6
11-01-03	6,2	11-02-03	4,2	11-03-03	1,8	11-04-03	2	11-05-03	0,7
12-01-03	6,1	12-02-03	4,1	12-03-03	1,8	12-04-03	2,2	12-05-03	0,9
13-01-03	7,1	13-02-03	4,9	13-03-03	2,4	13-04-03	1,5	13-05-03	1,1
14-01-03	5,8	14-02-03	3,8	14-03-03	2,4	14-04-03	1,3	14-05-03	1,2
15-01-03	4,8	15-02-03	3,6	15-03-03	2,9	15-04-03	1,2	15-05-03	1,2
16-01-03	5,7	16-02-03	6,2	16-03-03	3,1	16-04-03	1,3	16-05-03	1,3
17-01-03	6,1	17-02-03	5,4	17-03-03	3,9	17-04-03	1,3	17-05-03	1,3
18-01-03	6,5	18-02-03	5,6	18-03-03	2,5	18-04-03	2	18-05-03	1
19-01-03	6,6	19-02-03	5,2	19-03-03	2,2	19-04-03	2,4	19-05-03	1,2
20-01-03	6,7	20-02-03	5,9	20-03-03	1,4	20-04-03	2,6	20-05-03	0,7
21-01-03	6,7	21-02-03	5,7	21-03-03	2,4	21-04-03	1,9	21-05-03	0,8
22-01-03	5,6	22-02-03	5,1	22-03-03	1,7	22-04-03	2,3	22-05-03	0
23-01-03	5,1	23-02-03	4,9	23-03-03	2,5	23-04-03	1,7	23-05-03	1
24-01-03	7,9	24-02-03	4,0	24-03-03	3,8	24-04-03	1,5	24-05-03	1,1
25-01-03	6,1	25-02-03	3,5	25-03-03	3,8	25-04-03	1,3	25-05-03	0,7
26-01-03	5,5	26-02-03	4,6	26-03-03	2,9	26-04-03	1,9	26-05-03	0,7
27-01-03	5,4	27-02-03	3,9	27-03-03	3,2	27-04-03	1,6	27-05-03	0,9
28-01-03	6,2	28-02-03	4,7	28-03-03	2,5	28-04-03	1,8	28-05-03	0,9
29-01-03	7,7			29-03-03	3,7	29-04-03	1,8	29-05-03	0,7
30-01-03	7,8			30-03-03	2,9	30-04-03	1,5	30-05-03	0,1
31-01-03	6			31-03-03	2,5			31-05-03	0,5

Achurado corresponde a días de medición.

Anexo 2. Registros diarios del potencial hídrico, medido en hojas de palto para dos periodos de mediciones. (valores corresponden a la presión registrada en la cámara de presión Sholander medidos en bares).

Primer periodo.

1	B1			B2			B3			B4			
	R1	R2	R3	R1	R2	R3	R1	R2	R3	R1	R2	R3	
	T0	6,3	7,0	6,6	8,3	8,1	7,6	6,0	5,8	6,6	8,4	8,8	8,6
	T1	7,4	8,2	8,0	5,4	6,8	6,1	8,4	7,2	7,6	8,3	6,6	9,3
	T2	5,8	4,9	5,6	9,2	9,0	8,4	7,6	8,3	8,5	11,2	10,4	9,6
	T3	6,3	6,8	7,1	7,6	6,2	6,8	5,5	6,2	6,8	6,6	7,2	7,6
	T4	5,4	6,3	10,2	9,4	11,1	10,4	6,4	7,3	6,9	9,4	8,6	8,6
	T5	5,8	5,2	6,3	9,6	6,8	7,8	7,2	7,6	8,0	7,7	7,3	7,1
	T6	7,5	7,0	7,7	7,4	6,2	7,4	6,0	7,4	7,4	8,1	7,6	7,3
	T7	8,4	8,1	8,6	8,2	8,0	7,6	5,8	6,2	7,0	7,3	5,6	6,7
T8	9,0	8,2	7,9	6,7	6,4	7,0	8,4	7,6	7,2	6,8	5,5	7,2	
2	B1			B2			B3			B4			
	R1	R2	R3	R1	R2	R3	R1	R2	R3	R1	R2	R3	
	T0	5,8	5,5	6,2	7,6	8,0	7,0	6,2	7,2	5,5	8,1	7,8	7,6
	T1	6,8	6,6	6,4	6,3	6,4	6,1	7,3	6,6	6,8	7,3	6,6	9,0
	T2	5,5	5,0	6,0	8,8	7,6	7,8	6,9	8,0	7,3	8,2	6,9	7,5
	T3	6,2	6,0	6,2	6,4	6,2	7,0	6,0	5,8	5,9	6,9	7,4	9,3
	T4	7,3	5,0	5,2	8,3	6,4	6,8	8,3	7,4	6,2	8,3	7,9	8,0
	T5	5,3	5,6	5,8	7,2	7,4	6,2	7,3	6,8	6,9	9,4	6,2	7,4
	T6	6,8	7,0	6,6	6,4	7,0	6,7	7,0	6,3	6,9	7,7	6,6	7,1
	T7	6,4	6,9	7,7	5,7	7,3	7,8	6,3	6,5	6,4	6,7	5,9	5,7
T8	7,4	8,2	7,3	6,3	6,2	5,8	6,5	7,2	7,8	8,3	6,9	6,7	
3	B1			B2			B3			B4			
	R1	R2	R3	R1	R2	R3	R1	R2	R3	R1	R2	R3	
	T0	6,0	5,7	5,3	6,3	6,7	6,2	5,3	7,4	7,3	7,4	7,2	5,8
	T1	6,0	6,0	6,0	6,1	6,8	6,8	7,1	7,0	6,4	6,4	6,0	6,2
	T2	6,5	6,6	6,9	6,9	7,0	7,8	6,7	6,2	6,5	6,6	5,3	5,5
	T3	6,9	7,2	6,7	5,0	6,5	6,8	5,4	6,1	6,7	7,3	6,4	6,6
	T4	6,3	6,6	6,5	6,1	6,4	6,7	5,7	5,9	6,2	7,2	7,3	7,5
	T5	6,9	6,2	6,2	6,4	6,3	6,9	6,5	7,7	7,6	7,9	6,7	7,8
	T6	6,1	6,5	8,3	6,0	7,8	6,4	7,0	7,0	7,3	7,5	7,4	7,1
	T7	6,4	6,5	6,7	7,3	6,8	7,1	6,8	6,9	7,8	6,5	7,3	7,0
T8	9,4	8,2	7,5	6,2	6,7	7,3	8,3	7,5	5,8	5,6	7,2	7,7	
4	B1			B2			B3			B4			
	R1	R2	R3	R1	R2	R3	R1	R2	R3	R1	R2	R3	
	T0	6,2	5,5	5,4	7,0	7,2	7,5	5,8	5,8	6,2	7,2	7,3	6,7
	T1	6,6	6,4	6,2	6,5	6,1	7,0	6,9	7,3	7,6	6,5	7,8	7,6
	T2	5,3	7,4	7,3	6,6	5,3	5,5	6,5	6,4	6,3	6,2	6,6	6,8
	T3	7,8	7,2	5,4	6,9	7,2	6,7	7,2	5,6	6,6	6,9	7,3	7,0
	T4	6,0	6,0	6,0	5,4	6,1	6,8	7,6	6,5	7,8	6,8	6,9	7,8
	T5	6,3	6,7	6,7	5,8	6,3	6,3	6,7	8,3	7,4	7,2	6,6	6,8
	T6	7,3	6,9	6,3	6,8	6,6	7,1	6,8	6,8	7,4	9,3	8,0	7,8
	T7	6,4	6,2	6,0	6,4	6,5	6,5	7,0	6,5	6,7	6,3	7,2	6,7
T8	6,5	6,6	6,9	6,1	6,4	6,7	6,4	6,7	7,3	6,8	7,3	7,4	
5	B1			B2			B3			B4			
	R1	R2	R3	R1	R2	R3	R1	R2	R3	R1	R2	R3	
	T0	6,4	6,2	5,7	6,7	7,5	7,7	6,1	6,8	6,3	7,2	7,4	7,1
	T1	6,8	6,6	6,6	6,8	6,6	7,2	6,7	7,1	7,0	6,8	6,9	7,7
	T2	6,9	7,0	7,4	6,7	6,3	6,2	6,6	6,5	6,1	6,4	6,6	7,0
	T3	6,8	7,4	7,6	7,2	7,5	6,9	6,9	6,8	6,6	6,8	7,5	7,5
	T4	6,2	6,3	6,5	8,3	7,2	6,7	7,3	7,3	6,9	7,3	6,9	7,5
	T5	7,1	6,8	6,9	7,0	6,6	6,9	6,7	7,3	7,4	6,7	6,7	7,4
	T6	7,3	7,5	9,6	6,8	8,0	8,3	7,2	7,7	6,9	7,4	7,8	6,3
	T7	6,4	6,6	6,4	6,6	6,4	7,1	8,2	7,5	7,3	6,5	6,9	6,8
T8	7,2	9,4	8,1	6,7	6,5	6,1	6,6	7,0	6,7	6,8	7,3	6,9	
6	B1			B2			B3			B4			
	R1	R2	R3	R1	R2	R3	R1	R2	R3	R1	R2	R3	
	T0	6,6	6,4	6,3	7,3	6,5	7,9	6,0	6,2	8,1	7,4	7,6	7,2
	T1	6,9	6,8	6,6	6,7	6,7	7,5	7,3	7,5	6,9	7,2	6,5	7,5
	T2	7,1	6,8	7,3	6,3	6,4	6,8	6,7	6,4	6,2	6,6	6,6	6,9
	T3	7,5	7,8	8,1	7,2	7,8	9,4	7,1	8,3	8,1	7,4	7,5	5,8
	T4	7,3	6,7	6,4	4,8	6,7	7,0	6,8	7,5	7,6	6,7	7,8	7,6
	T5	6,1	6,5	7,7	6,5	6,9	6,8	6,9	7,0	7,8	6,7	8,1	8,3
	T6	6,9	7,6	7,6	7,5	7,8	7,8	6,3	6,5	7,7	7,2	7,6	7,5
	T7	7,2	6,5	6,6	7,1	6,4	6,8	7,8	8,2	8,2	6,7	7,3	7,2
T8	6,7	7,0	7,0	6,3	6,3	6,7	6,1	7,9	7,8	6,9	6,7	6,9	
7	B1			B2			B3			B4			
	R1	R2	R3	R1	R2	R3	R1	R2	R3	R1	R2	R3	
	T0	6,8	9,3	9,5	8,3	6,7	6,6	6,5	6,2	6,6	7,1	7,3	7,2
	T1	6,3	5,9	5,8	6,7	7,2	6,3	7,8	7,7	7,8	6,7	6,6	6,8
	T2	6,1	6,5	6,3	5,8	5,8	6,7	6,5	6,6	6,4	5,3	4,7	7,2
	T3	7,2	7,8	7,8	7,4	7,1	6,6	6,9	7,7	10,2	7,4	7,8	6,4
	T4	6,9	6,5	6,7	5,9	6,2	6,3	7,1	6,3	6,9	7,4	8,2	7,6
	T5	6,6	6,9	6,8	6,7	7,0	7,0	7,0	7,0	7,0	7,6	6,9	6,9
	T6	7,5	7,2	6,6	8,6	8,3	9,1	6,3	6,7	6,9	6,4	6,6	6,5
	T7	6,8	7,0	7,9	6,6	6,2	7,4	7,9	7,7	8,5	6,5	7,4	7,0
T8	6,0	6,4	6,2	6,4	6,0	6,0	8,8	7,4	7,6	6,2	7,2	6,5	
8	B1			B2			B3			B4			
	R1	R2	R3	R1	R2	R3	R1	R2	R3	R1	R2	R3	
	T0	7,3	7,9	7,6	6,9	6,9	7,4	6,5	6,6	6,8	8,3	7,6	7,9
	T1	6,0	6,2	6,7	7,3	8,1	8,2	8,4	9,1	9,6	7,6	7,6	6,2
	T2	7,1	6,3	6,3	7,2	6,4	6,6	7,5	7,3	7,0	7,1	6,7	6,6
	T3	6,4	6,9	6,7	7,2	7,6	7,0	7,6	8,2	8,6	6,1	6,3	7,8
	T4	5,8	6,8	6,6	7,3	8,0	8,0	7,0	6,7	6,9	7,2	7,4	7,4
	T5	7,6	7,0	7,3	6,8	6,9	6,1	6,8	7,4	7,6	8,5	8,3	8,0
	T6	7,8	7,8	7,5	7,2	7,9	7,7	8,0	7,8	7,9	6,8	7,6	6,1
	T7	6,8	6,6	7,8	7,5	6,6	6,9	6,8	7,4	7,8	6,3	5,6	5,8
T8	8,3	9,2	9,0	6,8	6,8	5,6	7,8	7,6	7,6	7,9	6,5	8,0	
9	B1			B2			B3			B4			
	R1	R2	R3	R1	R2	R3	R1	R2	R3	R1	R2	R3	
	T0	7,4	6,0	6,2	6,5	6,7	7,2	6,5	6,3	6,0	7,1	6,6	6,8
	T1	6,3	5,8	5,9	6,0	5,3	5,6	7,4	7,6	7,7	7,2	7,0	6,7
	T2	6,5	6,4	6,0	6,2	6,6	6,6	7,0	6,5	6,3	6,5	6,3	6,0
	T3	5,4	4,3	5,9	6,7	6,5	7,0	7,2	8,4	8,0	6,6	6,3	6,1
	T4	6,2	6,7	6,5	7,5	6,8	6,9	7,8	8,1	8,3	6,7	7,4	7,8
	T5	7,8	7,3	5,9	6,1	6,1	6,4	6,7	6,4	6,6	7,9	8,5	6,3
	T6	6,7	6,7	6,4	6,8	6,5	7,1	7,3	7,1	6,2	5,9	6,6	6,3
	T7	6,3	6,0	5,7	6,8	6,8	5,6	6,3	6,9	7,2	6,2	6,2	6,9
T8	6,1	6,4	7,2	8,3	8,7	7,2	7,3	7,3	7,3	6,5	7,1	7,3	
10	B1			B2			B3			B4			
	R1	R2	R3	R1	R2	R3	R1	R2	R3	R1	R2	R3	
	T0	6,3	6,4	6,3	6,5	6,6	6,7	6,2	6,3	6,3	6,3	6,6	6,7
	T1	6,0	6,2	5,6	5,8	5,6	5,4	6,5	6,7	7,1	6,5	6,5	6,5
	T2	5,9	6,6	6,2	6,4	6,1	6,1	6,8	6,8	6,6	5,9	6,2	6,8
	T3	6,1	5,8	5,7	6,5	6,8	7,5	6,4	7,8	7,9	7,2	6,8	6,7
	T4	6,3	6,4	6,4	6,7	6,3	6,2	8,4	10,2	8,6	6,3	5,6	5,8
	T5	7,6	7,0	7,7	6,0	5,8	5,8	6,6	7,2	6,7	9,5	8,6	9,2
	T6	6,5	6,2	6,6	6,4	6,6	6,9	6,7	6,9	6,2	6,0	6,1	6,0
	T7	5,8	5,8	6,1	6,9	7,2	7,6	6,4	6,7	6,7	6,7	6,4	6,6
T8	6,0	5,9	6,4	7,3	6,9	6,8	6,8	6,8	7,0	7,2	8,1	7,8	

## Segundo periodo

1	B1			B2			B3			B4		
	R1	R2	R3									
T0	5,8	5,3	6,1	6,4	6,6	6,7	8,1	8,3	9,0	6,4	6,6	6,8
T1	6,2	6,6	5,2	6,8	6,6	6,9	6,8	7,2	7,3	7,3	6,6	6,5
T2	7,3	6,8	6,5	8,3	7,4	7,6	7,4	7,5	7,3	5,6	6,0	5,8
T3	6,4	5,9	5,3	7,2	6,8	6,8	7,7	7,9	8,4	7,2	7,3	7,5
T4	6,1	6,0	6,1	6,0	6,2	6,1	6,4	6,3	6,6	6,0	6,7	6,7
T5	8,1	7,3	7,0	7,1	7,1	6,7	8,8	9,3	9,2	5,8	5,9	5,5
T6	6,7	5,8	5,9	6,4	5,8	5,8	7,1	7,3	7,7	5,3	4,2	5,6
T7	7,2	7,4	7,3	6,3	6,6	6,7	6,8	6,7	6,5	7,4	5,1	6,8
T8	7,6	6,9	7,4	5,9	6,3	6,5	6,9	6,9	6,4	6,6	6,4	6,8

2	B1			B2			B3			B4		
	R1	R2	R3	R1	R2	R3	R1	R2	R3	R1	R2	R3
T0	6,2	5,5	5,4	6,8	6,9	8,1	7,6	7,4	8,6	6,4	6,5	6,2
T1	6,4	6,4	6,4	6,8	6,3	6,9	6,9	6,7	6,9	7,4	7,3	6,8
T2	6,3	6,7	6,9	6,7	7,0	7,3	6,8	6,4	4,7	6,2	6,2	6,6
T3	6,2	6,7	6,5	6,6	7,5	7,2	8,2	8,0	8,5	6,9	6,5	7,2
T4	6,0	5,8	6,4	5,9	6,3	6,3	7,3	7,5	7,7	5,5	5,3	5,9
T5	6,8	7,0	6,9	6,8	6,8	6,8	8,5	8,5	10,3	6,0	7,2	7,2
T6	6,1	6,1	6,3	9,3	7,1	7,4	6,9	6,8	7,2	5,8	5,9	5,7
T7	8,6	7,8	7,9	6,5	6,7	6,7	6,8	6,8	7,0	6,9	7,4	7,4
T8	7,2	7,5	7,5	6,2	6,6	6,5	7,2	6,8	6,7	6,6	7,2	7,0

3	B1			B2			B3			B4		
	R1	R2	R3	R1	R2	R3	R1	R2	R3	R1	R2	R3
T0	6,4	6,2	5,8	7,3	7,0	6,6	7,2	8,4	8,8	6,5	6,3	6,3
T1	6,3	6,6	6,5	6,7	6,5	6,9	6,8	7,3	7,4	7,1	7,2	6,6
T2	7,0	6,8	6,8	6,6	8,1	6,8	6,6	6,7	6,6	6,5	6,7	6,8
T3	6,4	6,7	6,1	6,9	7,4	4,6	8,3	8,0	7,7	6,1	7,2	6,5
T4	5,9	6,6	6,8	6,4	6,5	6,5	7,0	7,2	7,1	6,4	6,0	6,2
T5	7,3	7,6	7,5	10,4	7,3	7,5	7,9	8,4	8,0	7,3	7,4	7,5
T6	6,8	6,9	6,9	6,3	7,9	6,6	6,8	6,9	6,9	8,3	8,1	8,0
T7	7,6	7,8	6,5	6,9	7,2	7,2	6,4	5,3	5,9	8,6	7,5	7,2
T8	7,0	6,9	7,6	7,3	6,7	6,7	6,7	6,7	6,7	7,4	7,3	6,9

4	B1			B2			B3			B4		
	R1	R2	R3	R1	R2	R3	R1	R2	R3	R1	R2	R3
T0	6,0	5,7	5,5	6,8	6,8	6,6	7,0	7,7	7,5	6,5	6,2	5,9
T1	6,4	6,4	6,4	6,4	6,5	7,3	7,2	7,1	7,3	4,6	6,2	6,7
T2	7,2	7,3	6,9	6,5	6,7	7,4	6,2	7,4	6,5	6,6	6,5	6,5
T3	6,5	6,8	6,6	7,1	7,3	7,1	7,7	7,7	7,9	5,6	5,8	6,3
T4	6,3	6,4	6,2	5,8	6,0	6,3	6,6	6,8	7,0	6,2	6,2	6,1
T5	6,7	7,3	7,4	7,2	6,9	7,3	6,7	6,9	6,8	6,8	6,9	7,4
T6	6,6	7,1	7,0	6,7	6,5	6,5	6,4	6,5	6,5	7,6	7,8	7,2
T7	6,7	6,9	6,9	6,8	6,8	6,8	6,0	6,1	5,6	7,2	6,9	6,6
T8	10,8	8,3	8,0	6,4	6,0	6,2	6,5	6,3	6,7	6,7	6,7	7,9

5	B1			B2			B3			B4		
	R1	R2	R3	R1	R2	R3	R1	R2	R3	R1	R2	R3
T0	5,9	5,4	5,4	6,6	6,5	6,7	6,7	6,9	6,9	6,3	6,0	6,0
T1	6,2	5,8	6,8	6,3	6,5	6,5	6,6	6,8	6,9	6,5	6,5	6,5
T2	6,6	6,7	6,7	6,8	6,3	6,4	5,9	5,9	6,6	6,7	6,3	6,4
T3	5,9	5,9	5,9	6,8	6,9	7,7	10,3	7,8	7,7	6,1	5,5	5,7
T4	6,5	6,3	7,3	6,0	6,2	6,2	6,4	6,5	6,5	6,7	5,9	5,8
T5	6,7	6,8	6,7	7,1	7,6	7,4	7,3	7,3	6,7	6,7	7,6	7,2
T6	6,5	6,3	5,9	6,3	6,6	6,5	6,3	6,3	6,1	8,4	8,0	7,3
T7	7,1	5,9	7,2	7,4	8,5	7,2	4,6	5,7	5,4	6,8	7,0	7,1
T8	6,8	6,9	6,8	5,9	5,8	5,7	6,7	6,6	6,5	6,6	6,9	6,9

6	B1			B2			B3			B4		
	R1	R2	R3									
T0	6,4	6,7	6,8	7,0	7,5	7,2	6,3	6,0	5,9	5,7	6,1	7,2
T1	6,0	6,0	6,6	6,5	5,8	6,6	6,7	6,6	6,3	6,0	6,2	7,5
T2	6,8	6,9	6,1	6,0	6,0	6,3	6,8	6,5	6,5	6,5	6,5	6,9
T3	5,7	5,9	6,5	6,6	6,7	7,5	6,9	7,3	6,5	7,3	7,2	5,8
T4	7,0	7,2	5,7	6,3	6,0	6,4	6,6	6,7	7,0	7,0	6,6	7,6
T5	7,3	7,2	6,7	6,5	6,4	6,9	7,0	7,0	6,9	7,1	6,8	8,3
T6	6,5	6,8	6,8	7,1	6,5	6,4	6,3	5,9	7,5	7,4	7,8	7,5
T7	5,5	5,0	6,9	7,5	7,5	6,0	6,3	5,8	7,0	7,4	7,3	7,2
T8	6,7	6,9	6,0	6,0	6,1	5,8	4,3	5,5	8,2	9,3	9,0	6,9

7	B1			B2			B3			B4		
	R1	R2	R3									
T0	6,3	6,8	7,7	7,4	7,8	6,3	6,5	6,7	6,2	5,9	5,8	7,2
T1	5,7	5,5	6,3	6,3	6,5	7,2	7,0	7,5	4,6	5,7	5,8	6,8
T2	7,2	6,9	5,7	5,8	6,3	7,0	8,0	7,7	6,7	6,8	7,1	7,2
T3	6,2	6,0	7,2	7,0	6,9	8,2	9,3	8,5	6,8	6,5	6,5	6,4
T4	6,8	6,8	6,4	6,5	6,6	6,7	6,8	6,8	7,2	6,8	7,5	7,6
T5	6,7	6,6	6,9	7,2	7,5	7,2	6,9	7,1	7,3	7,4	7,3	6,9
T6	6,5	6,4	7,3	6,3	6,2	5,8	5,8	5,8	7,6	7,6	7,6	6,5
T7	5,7	5,6	7,8	8,3	8,1	6,0	6,2	6,4	6,6	7,3	7,4	7,0
T8	7,7	7,3	6,2	5,6	5,7	6,0	6,0	6,0	8,0	7,6	7,8	6,5

8	B1			B2			B3			B4		
	R1	R2	R3									
T0	9,1	7,7	7,0	7,3	7,6	6,4	6,4	6,5	6,0	6,2	6,1	7,9
T1	6,2	6,0	7,0	6,8	6,6	6,9	7,3	7,2	6,2	6,5	5,3	6,2
T2	7,3	7,3	6,3	6,0	6,0	7,6	7,9	7,4	7,3	6,6	7,0	6,6
T3	6,3	6,7	6,8	6,9	7,3	7,7	7,3	7,0	6,7	6,7	6,5	7,8
T4	7,0	7,3	6,3	6,5	6,6	6,6	7,3	7,0	7,3	7,3	7,3	7,4
T5	6,4	6,0	8,2	7,3	7,3	7,2	7,4	7,1	6,8	6,7	7,0	8,0
T6	6,4	6,6	6,5	6,5	6,7	6,2	6,5	6,0	6,9	7,3	7,4	6,1
T7	5,9	6,2	7,5	7,7	7,6	6,4	6,3	6,5	6,8	6,4	6,6	5,8
T8	7,2	6,9	6,0	6,1	6,1	5,8	5,4	6,4	7,6	7,5	7,7	8,0

9	B1			B2			B3			B4		
	R1	R2	R3	R1	R2	R3	R1	R2	R3	R1	R2	R3
T0	7,2	6,9	6,7	6,7	6,8	6,0	6,3	6,2	5,8	5,8	6,2	6,8
T1	6,4	6,0	6,5	6,6	6,6	7,0	7,1	6,8	6,0	6,3	6,5	6,7
T2	6,7	6,7	6,3	6,4	6,7	8,2	6,3	6,5	6,5	6,6	6,7	6,0
T3	6,4	6,5	7,2	7,0	7,1	7,8	8,0	8,1	6,4	6,4	6,5	6,1
T4	6,8	7,3	6,4	6,6	6,2	6,4	6,5	6,5	6,9	7,2	7,0	7,8
T5	6,0	5,9	7,0	6,7	6,9	7,0	6,9	6,8	6,5	6,6	6,8	6,3
T6	6,5	6,4	6,4	6,6	6,8	6,0	5,9	6,1	7,2	7,3	7,2	6,3
T7	6,0	5,5	8,3	10,4	8,0	6,2	6,2	6,2	6,5	6,7	6,9	6,9
T8	6,5	6,5	6,0	5,9	6,2	5,6	5,4	5,4	7,5	6,8	6,8	7,3

10	B1			B2			B3			B4		
	R1	R2	R3									
T0	6,8	7,1	6,5	6,7	6,9	6,1	6,1	6,4	6,0	5,8	5,8	6,7
T1	6,2	6,5	6,3	6,4	6,5	6,5	6,6	6,8	6,2	6,7	6,3	6,5
T2	6,6	6,8	6,2	5,8	5,7	6,5	6,5	6,7	8,2	7,6	7,0	6,8
T3	6,6	6,7	6,7	6,9	6,9	6,9	7,5	7,9	6,6	4,3	5,8	6,7
T4	6,6	6,8	6,5	6,4	6,5	6,3	6,6	6,7	6,8	6,7	6,7	5,8
T5	5,3	6,2	6,8	6,8	6,8	6,9	6,8	6,8	6,4	6,5	7,1	9,2
T6	5,9	6,6	6,2	5,5	6,0	6,3	6,2	6,0	6,8	6,9	7,2	6,0
T7	6,3	6,0	6,8	7,2	7,0	6,1	5,7	5,9	6,3	6,5	6,5	6,6
T8	6,8	6,8	6,0	6,3	6,3	5,9	6,0	6,1	6,9	7,2	7,8	7,8

Anexo 3. Valores de potencial hídrico medidos a medio día en árboles con buen suministro de agua en la zona central de Chile.

Especies	Valor mínimo del rango	Valor Máximo del rango
durazno tardío (Santiago)	-10	-7
ciruelo (San Fernando)	-10	-7
nogales (Los Andes)	-8	-5
paltos (Quillota)	-8	-5
vides mesa Thompson Sedles (San Felipe)	-9	-6
vides mesa Flame Sedles (Rancagua)	-9	-6,5
vides mesa Crimson Sedles (Rancagua)	-9	-7
vides vino Cabernet Sauvignon (Valle del Maipo)	-10	-7
vides vino Chardonay (Casablanca)	-9	-5
olivos (San Felipe)	-16	-11

Fuente: [http://www.chileriego.cl/revista/rev11/rev11\\_11htm](http://www.chileriego.cl/revista/rev11/rev11_11htm)