

UNIVERSIDAD DE CHILE
FACULTAD DE CIENCIAS AGRONÓMICAS
ESCUELA DE AGRONOMÍA

MEMORIA DE TÍTULO

RESPUESTA DE LA VARIACIÓN DEL DIÁMETRO DE TRONCO Y DEL
POTENCIAL HÍDRICO XILEMÁTICO A DIFERENTES REGÍMENES DE RIEGO EN
UVA DE MESA, CV. CRIMSON SEEDLESS.

MARÍA VERÓNICA MUÑOZ MUÑOZ

SANTIAGO-CHILE
2005

TABLA DE CONTENIDOS

RESUMEN	2
SUMMARY	3
INTRODUCCIÓN	4
REVISION BIBLIOGRÁFICA	6
Programación de riego	6
Desarrollo radicular	8
Movimiento de agua en la planta	9
Variación del diámetro de tronco	10
Potencial hídrico xilemático	13
Temperatura de la cubierta vegetal	15
MATERIALES Y MÉTODOS	18
Ubicación y época de realización del ensayo	18
Clima	18
Suelo	19
Tratamientos	20
Sistema de riego	21
Medición de humedad del suelo	22
Desarrollo de raíces	22
Control del estado hídrico de la planta	23
Variación del diámetro del tronco	23
Potencial hídrico xilemático	24

Diferencia de temperatura hoja-aire	24
Diseño experimental y análisis estadístico	25
RESULTADOS Y DISCUSIÓN	26
Volúmenes de agua aplicados y contenido de agua del suelo	26
Volúmenes de agua aplicada	26
Contenido de agua en el suelo	27
Distribución lateral de agua en el suelo	28
Desarrollo radicular	29
Variación del diámetro del tronco	34
Crecimiento máximo diario	34
Amplitud de la contracción máxima	40
Crecimiento del tronco y crecimiento de la baya	44
Potencial hídrico xilemático	45
Evolución del potencial hídrico xilemático a lo largo de la temporada	45
Curso diario de la variación del diámetro del tronco y del potencial xilemático	50
Temperatura de la canopia	55
Evolución diaria de la temperatura de la canopia	56
Diferencia de temperatura entre la canopia y el aire	57
Grado de estrés acumulado	59
Sensibilidad de los indicadores al déficit hídrico	60
CONCLUSIONES	62
LITERATURA CITADA	63

RESUMEN

Durante la temporada 2003-2004 se realizó un ensayo donde se evaluó la influencia del contenido de agua del suelo sobre diferentes respuestas fisiológicas de la vid cultivar Crimson Seedless para determinar su comportamiento bajo déficit hídrico. Se analizó la variación del diámetro del tronco, el potencial hídrico xilemático y la temperatura de la canopia, tanto a escala diaria como estacional. Además, se evaluó el efecto de los tratamientos aplicados sobre el crecimiento radicular. Se establecieron cuatro tratamientos de riego, basándose en la evapotranspiración estimada del cultivo equivalentes al 94%, 67%, 37% de la evapotranspiración máxima (T1, T2 y T3) y un cuarto tratamiento combinado (T4) en los que se alternaron ciclos de riego y estrés entre 0 y 100% de la evapotranspiración.

Se determinó el crecimiento máximo diario y la amplitud de la contracción máxima, siendo el crecimiento de los troncos el que presentó una mayor sensibilidad de respuesta frente al déficit hídrico. La mayor tasa de crecimiento fue en T1. El potencial hídrico xilemático presentó diferencias significativas entre los tratamientos de riego y su relación con el contenido de agua en el suelo aumentó a medida que el agotamiento de agua en el suelo fue mayor. La temperatura de canopia mostró diferencias estadísticamente significativas entre tratamientos frente a períodos de sequía, pero a la vez fue un parámetro con alta variabilidad en las mediciones. El desarrollo radicular fue afectado por el contenido de agua en el suelo disminuyendo su crecimiento tanto con altos contenidos de agua en el suelo como con déficit hídrico.

Palabras Claves: Vid, variación diámetro tronco, potencial hídrico xilemático, temperatura canopia, desarrollo radicular, déficit hídrico.

SUMMARY

VARIATION OF TRUNK DIAMETER AND STEM WATER POTENTIAL UNDER DIFFERENT IRRIGATION REGIMES

The influence of soil water content on different physiological responses of the “Crimson Seedless” grapevine was studied to determine the vine behaviour under water deficit. For this purpose variation of trunk diameter, stem water potential and canopy temperature on both a daily and seasonal scale were analyzed. In addition, the treatment effect on root growth was evaluated. Three irrigation treatments, based on the estimated evapotranspiration of the crop, equivalent to 94, 67 and 37% of the maximum evapotranspiration (T1, T2, T3) and a combined treatment (T4) were established, in which irrigation and stress cycles were alternated between 0 and 100% of evapotranspiration.

Maximum daily growth and amplitude of maximum trunk shrinkage were determined, trunk growth showing the greatest sensitivity to water deficit. The greatest growth rate was seen T1. Stem water potential showed significant differences among irrigation treatments and its relationship with soil water content increased as soil water depletion was greater. Canopy temperature showed significant differences under drought periods, but, at the same time, it showed great measurement variations. Root development was affected by the soil water content, decreasing both with high water content and with water deficit.

Key words: variation of trunk diameter, maximum daily growth, stem water potential, canopy temperature, root development, water deficit.

INTRODUCCION

La programación de riego fue propuesta con el objetivo de conseguir que con suministros de agua cercanos a capacidad de campo (Jones, 2004) se alcance una mayor productividad y calidad de la uva de mesa (Myburgh, 1996). El uso de mediciones basadas en la planta para programación de riego se ha difundido cada vez más, ya que el conocimiento de la respuesta de las plantas a un déficit hídrico aumenta, pudiendo incorporarse particularmente en aquellos casos donde la imposición de un déficit hídrico en ciertos estados de desarrollo sea beneficioso (Mpelasoka *et al.* 2001, citado por Fereres y Goldhamer 2003).

Desde hace algunos años se han estudiado parámetros basados en mediciones de estrés hídrico en la planta, asociados a mecanismos fisiológicos; entre éstas se puede mencionar la variación del diámetro de tronco, del potencial hídrico xilemático y la temperatura de la canopia.

El potencial hídrico xilemático es un indicador que permite determinar el estado hídrico de las plantas en especies frutales y vides (Garnier y Berger, 1987; Ferreyra y Sellés., 2001; Fereres y Goldhamer, 2003). La temperatura de la canopia también es un parámetro propuesto como indicador del estado hídrico de las plantas (Jackson *et al.*, 1977; Ehrlér 1973; Gurovich 1989), sin embargo han mostrado tener una alta variabilidad y diferente sensibilidad según las condiciones climáticas (Stockle y Dugas,

1992). La inconveniencia en este tipo de mediciones es que no son prácticas automatizadas y sus mediciones son discontinuas.

La variación del diámetro de los troncos ha mostrado ser sensible a variaciones en la disponibilidad de agua en el suelo, incluso en condiciones de estrés hídrico moderado (Cohen, 1994; Myburgh, 1996; Goldhamer *et al.*, 1999; Moriana y Fereres, 2002). Una de sus mayores ventajas es registrar continuamente las variaciones en el diámetro del tronco permitiendo procesar esta información por medio de programas computacionales.

Este trabajo contempla el estudio de algunos indicadores fisiológicos del estado hídrico de la planta, que puedan ser utilizados como criterio para definir momento oportuno de riego. La hipótesis de este trabajo postula que aquellos indicadores de medición continua, serían más sensible que mediciones discontinuas, en detectar el déficit hídrico y reflejar su magnitud durante el periodo de estrés.

El objetivo general de esta memoria fue evaluar la variación del diámetro de tronco, del potencial hídrico xilemático y de la temperatura de la canopia a diferentes regímenes hídricos

Como objetivos específicos se propuso:

- Evaluar el efecto de la disponibilidad de agua en el suelo en la variación del diámetro de tronco, en el potencial hídrico xilemático y en la temperatura foliar.
- Establecer relaciones entre la variación del diámetro de tronco, el potencial hídrico xilemático y la temperatura foliar.

REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

En los últimos años se ha producido un importante cambio en los cultivares tradicionales de uva de mesa, que han sido reemplazados por otro de mayor preferencia por los consumidores de mercados internacionales. Es así como la variedad Crimson Seedless ha ido adquiriendo gran importancia en el país alcanzando las 13.183 cajas exportadas en la temporada 2004-2005, aumentando un 30% con respecto a la temporada anterior (Fuente: SAG, 2005).

Una de las principales características de este cultivar es que su cosecha se concentra entre fines de Febrero y fines de Marzo en una gran variedad de climas, presenta una buena preservación en postcosecha, durando sin problema hasta 6 meses en almacenaje (Cameron, 2001), la textura de la baya es firme y crocante, y su sabor excelente (Muñoz y Lobato, 2000); es un cultivar muy vigoroso por lo que se prefiere plantar en suelos medianamente fértiles, para no promover un exagerado crecimiento vegetativo (Muñoz y Lobato, 2000).

Programación de riego

En el manejo del riego se trata de obtener los máximos beneficios que el sistema pueda dar a través de un adecuado control de la humedad del suelo, regulando la frecuencia y

el tiempo de riego (Ferreyra *et al.*, 1997). El tiempo de riego se obtiene de la relación entre las necesidades de agua diarias del cultivo y el caudal entregado por los emisores (Gurovich, 1985). Las necesidades hídricas del cultivo se definen por métodos empíricos, que en general, evalúan la evapotranspiración máxima a partir de registros climáticos corregidos por un coeficiente de cultivo (Pizarro, 1987), determinando la evapotranspiración del cultivo, que varía según la cobertura del huerto. Una de las técnicas de riego más utilizadas por los agricultores es el riego por goteo, y dentro de las ventajas que presenta está el ahorro de agua, el que se relaciona con menores pérdidas por percolación profunda y evaporación. En el bulbo de mojamamiento que forma un gotero no hay una distribución homogénea del contenido de agua, ésta se mueve desde suelo saturado hacia poros vecinos en respuesta a gradientes de potencial hídrico. En el suelo los principales factores que afectan la forma y tamaño del bulbo de mojamamiento están la textura, estructura, caudal o descarga de los emisores y tiempo de riego (Pizarro, 1987).

Una adecuada programación de riego debe permitir que el consumo hídrico en la zona radicular del cultivo no afecte negativamente su evapotranspiración, lo que implica conocer la capacidad de almacenamiento y la dinámica del agua en el suelo, así como su disponibilidad para la planta (Ferreira *et al.*, 1997; Sandoval *et al.*, 1989 citado por Bravo, 2001).

Una estrategia de riego debe considerar el desarrollo de la canopia y la etapa de crecimiento en que se encuentra. Es así, como Peacock *et al.* (1998), postula que la cantidad de agua a aplicar se puede dividir en cuatro etapas según la fase de crecimiento de la vid. La primera abarca desde brotación a floración, donde el requerimiento hídrico no es tan alto, ya que hay una mayor reserva de agua en el suelo por las precipitaciones invernales. Una segunda etapa desde floración a pinta siendo ésta la etapa más crítica a la falta de agua, ya que el

fruto está en pleno crecimiento; la tercera etapa desde pinta a cosecha, y una cuarta etapa de postcosecha, donde la planta puede ser sometida a estrés hídrico variables sin afectar los rendimientos.

Desarrollo radicular

El desarrollo radicular y las características del sistema radicular depende del genotipo, sin embargo este puede ser alterado por condiciones ambientales, en particular condiciones físicas del suelo (Richards, 1983 citado por Bravo, 2001). Las propiedades físicas e hidráulicas del suelo constituyen factores importantes que afectan el proceso de absorción (Acevedo, 1979; Steudle, 2000). En el crecimiento radicular, como en cualquier otro proceso fisiológico que depende de la elongación celular, el agua tiene una participación fundamental al proporcionar la fuerza que produce la expansión (Acevedo, 1979).

En condiciones normales, las raíces obtienen el oxígeno que necesitan para la respiración directamente desde el suelo. Sin embargo, cuando el suelo se satura de agua el intercambio de gases se reduce sólo a la porción más superficial del suelo, provocando una situación de anoxia radicular. El oxígeno disponible es rápidamente consumido por la flora microbiana del suelo, deteniéndose la absorción y transporte de agua y sales hacia la raíz (Azcon-Bieto y Talón, 2000).

Movimiento de agua en la planta

El movimiento de agua en la planta es un proceso pasivo, inducido por diferencias de potencial hídrico entre dos sistemas particulares. El agua se mueve desde zonas de mayor a otras de menor potencial hídrico. En el interior de la planta, el potencial hídrico es más elevado en las raíces disminuyendo progresivamente en el tallo, observándose los valores más bajos en las hojas (Azcón-Bieto y Talón, 2000). Es así como la absorción del agua del suelo hacia las raíces se produce principalmente por el gradiente de potencial hídrico generado por la transpiración de las partes aéreas (Acevedo, 1979; Pizarro, 1987).

El movimiento de agua desde el suelo hacia las raíces, a través de la planta hacia el aire se puede considerar como una serie de procesos estrechamente interrelacionados. Este movimiento de agua es conocido como el continuo suelo-planta-atmósfera y se considera similar al flujo de electricidad en un sistema conductor, por tanto, se puede describir como un análogo a la Ley de Ohm (Azcón-Bieto y Talón, 2000) y se puede aplicar al flujo en equilibrio estable a través de la planta de la manera siguiente:

$$Flujo = \frac{\psi_{suelo} - \psi_{raíz}}{r_1} = \frac{\psi_{raíz} - \psi_{tallo}}{r_2} = \frac{\psi_{tallo} - \psi_{hoja}}{r_3} = \frac{C_{hoja} - C_{aire}}{r_{hoja} + r_{aire}}$$

Donde r_1 , r_2 y r_3 constituyen las resistencias en las partes respectivas de la vía y C corresponde a la concentración de vapor de agua.

Variación del diámetro de tronco

El movimiento ascendente del agua es en gran medida durante el día cuando los estomas están abiertos, pero este movimiento ascendente continúa durante la noche incluso después que la transpiración ha cesado. El agua continuará introduciéndose en ellas hasta que alcancen la máxima turgencia. Para condiciones hídricas adecuadas con una alta demanda atmosférica representada por el déficit de presión de vapor atmosférico (DPV) (Ferreira *et al.*, 1999), y una tasa de transpiración mayor al agua absorbida por las raíces, la contracción y dilatación que se provoca por la entrada y salida de agua desde los tejidos extensibles ubicados fuera del xilema muerto e incluye el floema, el cambium vascular y las células inmaduras del protoxilema (Garnier and Berger, 1986) presenta fases claramente identificables. Durante las primeras horas del día el DPV aumenta y la variación del diámetro del tronco (VDT) disminuye, cuando el DPV alcanza el mayor valor la VDT alcanza su valor mínimo diario, lo que corresponde a la fase de deshidratación (Cohen, 1994); durante la tarde la demanda evaporativa disminuye, lo que lleva a una fase de rehidratación de los tejidos provocando una expansión del diámetro del tronco que llega a un máximo durante la noche, el crecimiento que experimenta el tronco se ve reflejado cuando esta expansión supera el máximo del día anterior (Cohen, 1994; Myburgh, 1996). Autores como Huck and Klepper (1977) citados por Genard *et al.* (2001), Garnier and Berger (1986) proponen una teoría basada en el flujo pasivo de agua, que provoca una propagación radial del potencial foliar en el floema y tejidos extensibles lo que induciría la contracción y la dilatación del tronco en el curso del día.

En la figura 1 se presenta un ejemplo de la VDT y del DPV del aire, para un periodo de 3 días (Goldhamer y Fereres, 2001). De la VDT se pueden derivar otros parámetros de importancia en la interpretación de la respuesta tanto a escala diaria como estacional. La diferencia entre el máximo diario y el mínimo diario define la amplitud de la contracción máxima (ACM) (Gil, 2000; Goldhamer y Fereres, 2001; Intrigliolo y Castel, 2004) que es fuertemente afectada por la disponibilidad de agua en el suelo (Garnier and Berger, 1986) y por parámetros físicos, fisiológicos y bioquímicos como el turgor celular (Myburgh, 1996), el módulo de elasticidad de las paredes celulares componente importante en la capacidad de almacenamiento de agua en los tejidos extensibles (Genard *et al.*, 2001). Por otra parte la diferencia entre dos máximos de días consecutivos entrega una medida del crecimiento máximo diario (CMD) del tronco. La suma del crecimiento máximo diario (CMD) se define como el crecimiento acumulado (Goldhamer y Fereres, 2001), cuya pendiente permite determinar la tasa de crecimiento. Reducciones en el contenido de agua en el suelo pueden afectar el estado hídrico de las plantas. Se ha encontrado relación entre el grado de contracción-dilatación del tronco y los cambios en el nivel de agua en la planta en manzanas (Huguet *et al.*, 1992).

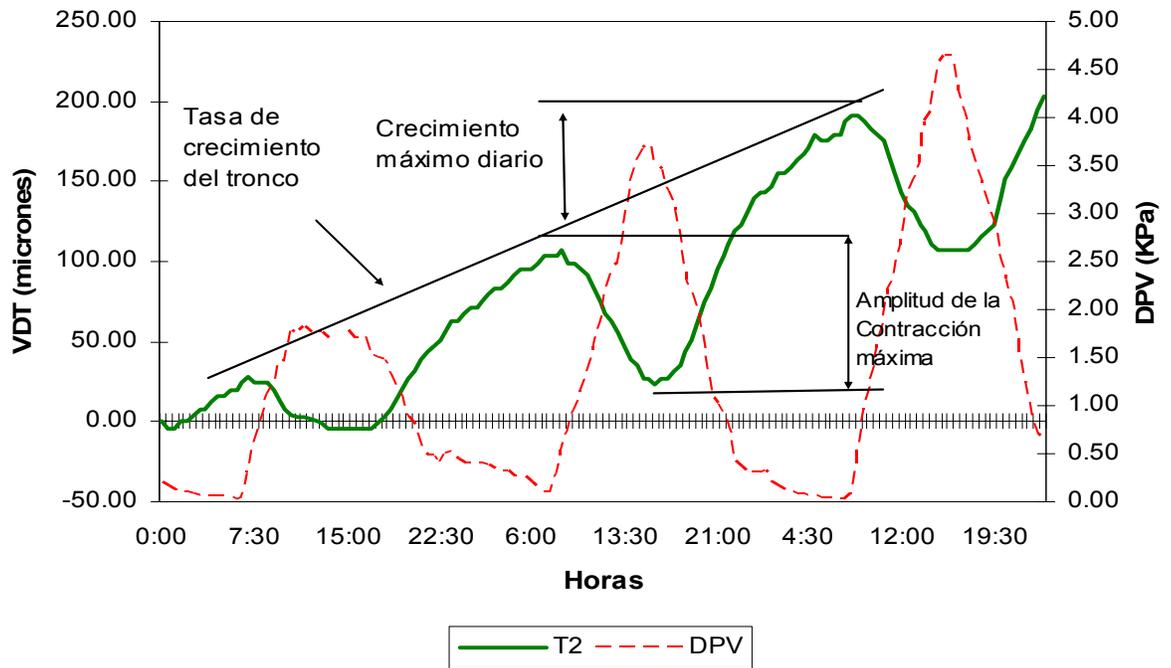


Figura 1. Parámetros que pueden ser derivados de las mediciones del diámetro del tronco (VDT), incluyendo amplitud de contracción máxima (ACM), crecimiento máximo diario (CMD) y tasa de crecimiento máximo diario. Además se presenta la evolución del DPV, para un periodo de 3 días (Goldhamer y Fereres, 2001).

Para utilizar parámetros derivados del diámetro de tallos y troncos en la programación de riego es necesario disponer de métodos adecuados de interpretación de datos y protocolos de riego basados en estos métodos. Los objetivos de estos protocolos son evaluar si los programas de riego son adecuados y permitir la programación de riego automatizada (Gallardo y Thompson, 2003). Goldhamer y Fereres (2001), asumen que la variación en diámetro de tronco (VDT) para una especie particular y bajo una determinada demanda evaporativa varía dependiendo principalmente del nivel de agua en la planta, edad del huerto y frecuencia de riego. En condiciones de suelo sin limitaciones de agua es probable desarrollar una relación para especies de árboles particulares y agrupados por edad que permitan detectar oportunamente un estrés hídrico

en la planta dependiendo de la tasa de desarrollo del estrés y de la frecuencia de monitoreo.

Varios autores proponen que registros continuos de la VDT pueden reflejar el estado hídrico de las plantas (Cohen, 1994; Goldhamer *et al.*, 1999; Cohen *et al.*, 2001; Marsal *et al.*, 2002; Intrigliolo y Castel, 2004). Para desarrollar este tipo de mediciones es necesario un instrumento que registre continuamente el nivel de agua en la planta, o algún aspecto de su funcionamiento. Asociado a esto, permite calcular o dimensionar la tasa de crecimiento del tronco para una temporada (Fererer *et al.*, 1999, Fererer y Goldhamer 2003) la que se relaciona bien con el nivel de agua en términos de hacer una oportuna detección de estrés en la planta (Garnier y Berger, 1986; Fererer y Goldhamer, 2003). Algunos autores como Goldhamer *et al.* (1999) y Gallardo y Thompson, (2003), también pudieron corroborar que las oscilaciones en diámetro de tronco son más sensibles que mediciones basadas en el potencial hídrico de la hoja en detectar el inicio del déficit hídrico, y también refleja la magnitud del estrés. Las variaciones del diámetro del tallo o tronco se miden con sensores de alta resolución de desplazamiento variable y respuesta lineal (también llamados dendrómetros o sensores LVDT, lineal variable displacemenet transducer) que conectados a un data-logger permiten medidas de las oscilaciones del tallo de forma continua y automática (Gallardo y Thompson, 2003).

Potencial hídrico xilemático

El estado hídrico de la planta puede ser monitoreado a través del potencial hídrico xilemático (Px), expresado en MPa. Este refleja la tensión del agua en los vasos conductores de la planta definiendo el nivel de estrés en que se encuentra, (Santa Olalla,

1993) debido a la disponibilidad de agua en el suelo y a la demanda evaporativa de la atmósfera (Ferreyra y Sellés, 2001). El Px es probablemente el indicador más comúnmente utilizado para definir el estado hídrico de las plantas y se ha propuesto para el manejo y control de riego (Cohen, 1994).

La mayor ventaja en esta técnica es la uniformidad de los datos obtenidos dentro de diferentes partes de la canopia, independiente de la luminosidad que presenta la hoja. El tipo, tamaño, forma y condición fisiológica de la hoja no tiene influencia en la medición del Px. Entre los factores que afectan la medición están las condiciones climáticas (radiación solar, temperatura del aire y humedad relativa), hora del día de la medición y ubicación de la hoja en el árbol (Sellés *et al.*, 2003). El uso de medidas del Px no ha tenido una adopción significativa a nivel comercial y su empleo se ha recomendado para especies relativamente tolerantes al déficit hídrico y riegos de baja frecuencia (Gallardo y Thompson, 2003).

A escala diaria, el Px de la planta se relaciona con la VDT (Garnier y Berger, 1986; Selles y Berger, 1994; Goldhamer *et al.*, 1999), el cual se ve afectado por las condiciones de la demanda evaporativa de la atmósfera y por la disponibilidad de agua en el suelo (Jones, 1990). Sin embargo, hay algunos aspectos entre la relación de la VDT y el nivel de agua en la planta que aún permanecen confusos, especialmente el que refleja una fase de retraso o respuesta retrasada de cambios en diámetro de tronco comparado con cambios en Px. Se asume que este retraso se produce por una resistencia radial al flujo de agua entre el xilema y floema. Diversos autores citados por Garnier y Berger (1986), sugieren que cuando la distancia de los puntos de medición del potencial hídrico y cambios en el diámetro del tronco es baja, la fase de retraso se reduce o cancela. Otra hipótesis apunta a que la diferencia de potencial hídrico en sentido radial se hace mayor

lo que aumenta el flujo provocando una contracción del diámetro del tronco en plantas sometidas a un estrés hídrico.

Temperatura de la cubierta vegetal

Dentro de los métodos de evaluación indirecto del estado hídrico están los que miden la temperatura de la planta. El principio de este método se basa en que la temperatura de un vegetal está regulada por los procesos transpiratorios y éstos dependen entre otros factores de su estado hídrico, humedad atmosférica, temperatura del aire (Santa Olalla, 1993) y estado hídrico del suelo (Gallardo y Thompson, 2003). Una planta abastecida adecuadamente de agua a través de sus raíces, evapora agua más rápidamente que una planta similar, sometida a estrés hídrico. Esta mayor evaporación se traduce también en una menor temperatura del follaje.

Durante la mañana la temperatura de la hoja aumenta en forma directa al DPV, alcanzando ambas variables su máximo a las 15 horas, cuando la demanda atmosférica es la más alta del día, cuando el DPV disminuye provoca también una disminución en la temperatura de la hoja. En situaciones de estrés hídrico, la transpiración de un cultivo se reduce por cierre estomático parcial disminuyendo la influencia del DPV, lo cual genera un calentamiento de la planta, y un aumento de su temperatura (Gallardo y Thompson, 2003). Algunos autores como Ehrler (1973), Idso *et al.* (1981) y Gurovich (1989) proponen el empleo de un índice de estrés hídrico basado en la medida de la temperatura de la cubierta vegetal en combinación con la del DPV que permite determinar si la tasa de evapotranspiración del cultivo está por debajo de su nivel máximo y donde se ha determinado un valor umbral de 0,4 para uva de mesa (Anconelli y Battilani, 2000

citado por Gallardo y Thompson, 2003). Al relacionar esta diferencia de temperatura con el DPV en periodos de 24 horas se podría determinar la existencia de algún tipo de estrés en la planta. Esta medición podría ser relacionada con la reducción del agua en el suelo. El índice de estrés hídrico se considera como un balance de energía básico, sin embargo, adicionalmente está influenciado por factores medio ambientales y otros factores como humedad de suelo, presión de vapor de aire, radiación neta y velocidad del viento. Es importante determinar la relevancia de cada uno de estos factores e instrumentar un medio de ajuste para ellos si fuese necesario, con el fin de cuantificar un estrés hídrico si la humedad del suelo es insuficiente (Idso *et al.*, 1981).

Según Idso *et al.* (1981) al inicio del día el follaje de la planta inicia un calentamiento. Sin embargo, este calentamiento relativo al del aire, sólo dura 2 a 3 horas, posteriormente el follaje comienza a enfriarse de la misma forma que el aire. Este relativo enfriamiento obedece a una función lineal con el DPV y dura hasta 2 a 3 horas antes del anochecer. Este autor postula que esta relación lineal es una manifestación de evaporación potencial. Esto no es desconocido, ya que los cultivos de las regiones templadas abren sus estomas gradualmente al iniciar el día en respuesta a un incremento en la iluminación para su posterior cierre al final del día.

Jackson *et al.* (1977) por su parte, bajo el mismo principio básico de relacionar la ΔT° propone un Grado de Estrés Acumulado, que corresponde a la sumatoria durante la temporada de la diferencia de temperatura entre la canopia y el aire (ΔT°). Una planta bien regada tendrá una tasa transpiratoria más alta que otra sometida a estrés hídrico regulando así de forma más eficiente la temperatura de la hoja. Esto provoca que la T_c sea mucho menor a la T_a aumentando la diferencia entre ellas, y provocando que la acumulación de la ΔT° durante la temporada sea menor en plantas sin estrés. Este autor indica que este índice podría considerarse útil para determinar el tiempo de riego y las cantidades de agua que necesita el cultivo.

Según Gallardo y Thompson (2003) la respuesta de la diferencia de la temperatura entre la canopia y el aire fue mucho más tardía que otros indicadores como el Px en la detección de un estrés hídrico en la planta, ya que esta respuesta se produce cuando hay un cierre parcial de los estomas de la planta y ello tiene lugar mucho más tarde que la reducción en otros procesos más sensibles como el crecimiento.

MATERIALES Y MÉTODOS

Ubicación y época de realización del ensayo

El ensayo se realizó en el predio Cabrini, ubicado en la comuna de Curimón, San Felipe (70°39'17" O y 30°44'19" S), V Región de Valparaíso, durante la temporada 2003-2004 en un cuartel de uva de mesa comercial (*Vitis vinífera L.*) cultivar Crimson Seedless, de 8 años de edad, plantado a una distancia de 3.5x3.5 m, conducido en sistema de parronal español. La superficie total del ensayo abarcó 4.032 m², con 384 plantas en total. Cada parcela experimental se conformó por un total de 24 plantas.

Clima

El clima se caracteriza por presentar una evapotranspiración media anual de 1.326 mm, siendo enero el mes de mayor demanda con 190 mm. El régimen hídrico presenta una precipitación media anual de 265 mm (Santibáñez y Uribe, 1990), donde la precipitación de la temporada 2003-2004 alcanzó 119 mm.

Suelo

El suelo del sitio experimental corresponde a la Serie Pocuro. Es un suelo profundo, homogéneo, en posición de terraza aluvial, de clase textural franco arcillo limosa y arcillo limosa en profundidad.

Al final de la temporada se determinaron algunas constantes hídricas del suelo (Cuadro 1). La Capacidad de Campo (CDC) medida in situ con una sonda capacitiva, el Punto de Marchitez Permanente (PMP) determinado en laboratorio por el método de la olla a presión, y la densidad aparente (Db) determinada en Laboratorio por el método de la parafina (Kutle, 1986).

Cuadro 1. Características físico-hídricas del perfil de suelo del ensayo. CDC corresponde a Capacidad de Campo; PMP, Punto de Marchitez Permanente y Db es la Densidad Aparente.

Profundidad (cm)	CDC (%)	PMP (%)	Db (g cm ⁻³)
0-10	49.65	10.67	1.57
10-20	49.65	10.47	1.57
20-30	50.58	11.47	1.59
30-40	48.03	10.76	1.59
40-60	62.55	11.06	1.65
60-100	81.55	13.96	1.55

Tratamientos

Los requerimientos hídricos de las plantas se definieron a partir de la evapotranspiración de referencia por el método de Penman Monteith (FAO 56, 1998) obtenida de una estación meteorológica automática ubicada en el predio. Estos valores fueron corregidos por un coeficiente de cultivo (Kc) calculando la evapotranspiración del cultivo (ETc). Los Kc se obtuvieron de acuerdo a la metodología de Williams *et al* (2003). Además se determinaron algunos estados fenológicos de importancia (Cuadro 2).

Cuadro 2. Determinación de algunos estados fenológicos durante la temporada y Coeficientes de cultivo (Kc) según Williams *et al*. (2003) para Crimson Seedless durante la temporada. Los días después de Brotación corresponden a DDB.

DDB	Estado fenológico	Kc
1	Inicio Brotación	0.25
19	Racimo visible	0.35
26	Racimo abierto	0.40
54	Cuaja	0.55
68	Anillado.	0.65
110	Inicio de pinta	0.70
151	Plena pinta	0.80
171	Cosecha	0.60
178	Cosecha	0.60
185	Cosecha	0.50

Los tratamientos fueron los siguientes:

T1 : Reposición de agua equivalente al 100% de la evapotranspiración del cultivo durante toda la temporada.

T2 : Reposición de agua equivalente al 75% de la evapotranspiración del cultivo durante toda la temporada.

T3 : Reposición de agua equivalente al 50% de la evapotranspiración del cultivo durante toda la temporada.

T4 : Reposición de agua equivalente de forma variable entre 0 y 100% de la evapotranspiración del cultivo durante toda la temporada. Este tratamiento no se regó hasta el mes de Diciembre.

El régimen de riego fue de baja frecuencia, con riego cada dos a cuatro días, dependiendo de la evapotranspiración de referencia como lo recomienda Selles *et al* (2003) para los suelos de textura fina del Valle de Aconcagua.

Sistema de riego

El ensayo fue regado por goteo, aplicado mediante dos líneas de riego, con un caudal de 3,8 L/h y separados a 1 m de distancia, 7 goteros planta⁻¹. Los volúmenes de agua aplicados se midieron a través de caudalímetros ubicados en la matriz de cada tratamiento.

Medición de humedad del suelo

La variación de humedad del suelo se midió a través de una sonda capacitiva (Delta-T probe model PR1, Inglaterra) que registró el contenido volumétrico de humedad del suelo. En cada tratamiento se instalaron 5 tubos de acceso, perpendiculares a la línea de plantación, cada 0,3 m desde la hilera de plantas hacia la entre hilera. El contenido de agua de suelo se midió a 0.1, 0.2, 0.3, 0.4, 0.6 y 1.0 m de profundidad. Las mediciones se realizaron en forma semanal.

Los contenidos de agua en el suelo se expresaron en mm hasta 0.6 m de profundidad, ya que las mediciones realizadas a 1 m de profundidad presentaron muy poca variación, en relación a las otras estratas de suelo, lo que indica una baja extracción a este nivel.

A objeto de relacionar los contenidos de agua en el suelo medidos con el instrumento con el contenido de agua de suelo a capacidad de campo (CDC), durante el invierno, se procedió a saturar el suelo, dejándolo drenar durante 48 hrs, al término de este periodo se determinó el contenido de agua con la sonda capacitiva.

Desarrollo de raíces

Al término de la temporada de riego se realizó una calicata por tratamiento para evaluar la distribución y el crecimiento radicular, utilizando la metodología descrita por Sellés *et al.* (2003), en cada calicata se realizó un recuento de las raíces finas (diámetro inferior a 2 mm), para ello se utilizó una sección de 1.2 x 1m subdividida en cuadrículas de 20x20 cm. Además, se consideró el volumen de raíces por volumen de suelo muestreado para cada una de las subdivisiones, según la metodología descrita por Tennant (1975).

Control de estado hídrico de la planta

Se utilizaron diferentes métodos de medición para controlar el estado hídrico de la planta durante todo el período experimental como la variación del diámetro de tronco, el potencial hídrico xilemático y la diferencia de temperatura canopia-aire.

Variación del diámetro del tronco

En cada tratamiento se instaló un dendrómetro electrónico inalámbrico (Phytec DE-1M, Israel) a 1.5 m de altura en el tronco de la planta. El sensor se apoyó directamente sobre la epidermis de la planta. Las mediciones se realizaron en forma permanente, cada 30 min. Los valores fueron almacenados en una central de adquisición de datos ubicada a 150 m del lugar del ensayo. Los dendrómetros fueron instalados 3 días después de brotación (DDB), por lo cual se pudo registrar la temporada completa de crecimiento del tronco.

Potencial hídrico xilemático

Se consideró el potencial hídrico xilemático (Px), medido por el método de la cámara de presión, en 4 hojas por planta y por tratamiento, de acuerdo a la metodología descrita por Meyer y Reicosky (1985). Las mediciones se realizaron dos veces por semana al medio día solar (potencial hídrico mínimo a las 14 horas). Una vez al mes se realizaron ciclos diarios con mediciones cada tres horas desde el amanecer hasta dos horas después de la puesta del sol. El Px medido al medio día permite conocer el grado de estrés que alcanzan las plantas durante el día.

Diferencia de temperatura hoja-aire

La temperatura foliar (°C) se midió mediante un termómetro infrarrojo (Cole Parmer). Las mediciones se realizaron en cuatro plantas por tratamiento y con 12 repeticiones al medio día solar, sobre la canopia del cultivo. Se analizó la tendencia de la temperatura de la canopia, de la diferencia de temperatura entre la canopia y el aire y el grado de estrés acumulado descrito por Jackson *et al.* (1977).

Diseño Experimental y análisis estadístico

El ensayo se estableció en un diseño completamente al azar, con cuatro tratamientos de riego, siendo la unidad experimental la planta.

En el caso de las mediciones de la humedad de suelo y la variación del diámetro de tronco se analizaron mediante el uso de estadística descriptiva. Además, con el fin de relacionar la información proveniente de la humedad del suelo, la variación del diámetro de tronco y la temperatura de la canopia se analizó mediante análisis de correlación y regresión. El potencial hídrico y la temperatura de la canopia se sometieron a análisis de varianza ANDEVA y cuando se detectaron diferencias significativas se usó la prueba de rango múltiple de Tuckey.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Volúmenes de agua aplicados y contenido de agua del suelo

Volúmenes de agua aplicada.

En el Cuadro 3 se presentan las cantidades de agua aplicadas basadas en la ETc. Se establecieron diferencias de los volúmenes de agua aplicados en cada tratamiento alcanzando a 93.7%, 67.3%, 37.2% y 62.9% de la ETm para T1, T2, T3 y T4 respectivamente.

El tratamiento T4 no fue regado durante los meses de Octubre y Noviembre.

Cuadro 3. Volúmenes de agua aplicada por cada tratamiento de riego durante la temporada 2003-2004 La evapotranspiración máxima corresponde a Etm, la evapotranspiración de referencia es Eto.

Mes	Evapotranspiración (mm)		Agua aplicada (m ³ ha ⁻¹)			
	Eto	Etm	T1	T2	T3	T4
Octubre	142.45	63.95	455.3	0.0	0.0	0.0
Noviembre	151.34	156.60	1639.3	1237.1	364.3	0.0
Diciembre	227.73	273.28	2459.2	1847.2	1183.9	1092.9
Enero	209.46	251.35	2458.9	1844.2	1001.8	2990.2
Febrero	167.57	195.40	1912.5	1434.4	819.6	1366.1
Marzo	162.48	186.85	1639.3	1229.2	819.6	1639.3
TOTAL	1061.0	1127.4	10565	7592.2	4189.2	7088.4
% Etm			93.7	67.3	37.2	62.9

Contenido de agua en el suelo

En la figura 2 se aprecia que los contenidos de agua en el suelo (CAS) variaron para T1 entre 280.4 y 331 mm (81 al 96% de la CDC). T2 varió entre 241 y 278 mm (70 y 80% de CDC). T3 entre 203.4 y 286 mm (59 al 83% de CDC). Finalmente en T4 el día 79 DDB registró el valor mínimo de agua en el suelo de la temporada que fue de 170.6 mm (49% de la CDC) y el máximo valor alcanzado fue de 273 mm (79.4% de CDC).

El comportamiento de las variaciones de los contenidos de agua en el suelo alcanzó valores muy similares reflejando volúmenes diferenciales de agua aplicados a cada tratamiento.

El contenido de agua a Capacidad de Campo (CDC) fue de 344 mm.

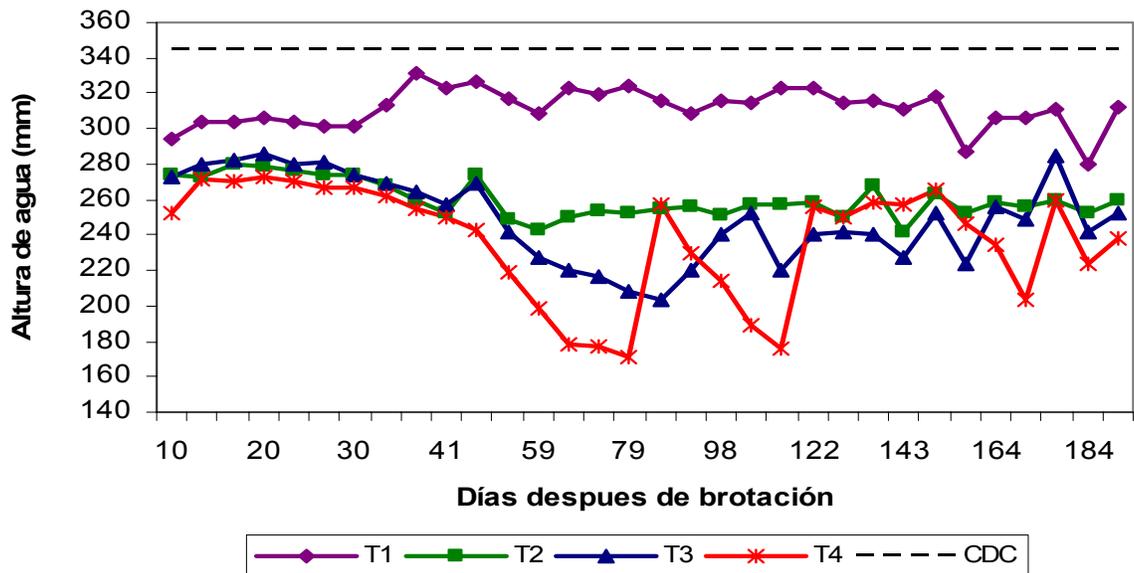


Figura 2. Variación del contenido de agua del suelo en los diferentes tratamientos de riego, expresada en mm de agua por 60 cm de profundidad de suelo para la temporada 2003-2004. CDC corresponde a Capacidad de Campo.

Distribución lateral de agua en el suelo

En el cuadro 4 se muestra la distribución lateral de agua en el suelo expresada como porcentaje de CDC promedio hasta los 60 cm. de profundidad desde la hilera de plantación hasta 1.2 m de distancia. En todos los tratamientos los valores más altos se presentaron cerca de la línea de goteo y hasta los 30 cm. de distancia de ésta, disminuyendo hacia la entre hilera. La distribución de humedad es típica de los suelos con riego por goteo, donde los mayores contenidos de agua se encuentran próximos al punto de emisión, para disminuir a medida que se aleja del bulbo húmedo (Warrick, 1986), los datos permiten concluir que los valores medidos son representativos del estado hídrico del suelo que exploran el conjunto del sistema radical de las plantas.

Los mayores volúmenes de agua de suelo se presentaron en T1 sobrepasando el 100% de la CDC bajo la línea de goteo, sobre la línea de plantación, producto de los mayores volúmenes de agua aplicados en cada riego. La ubicación de los tubos de acceso es un factor determinante para establecer las dimensiones del bulbo.

Cuadro 4. Contenido de agua en el suelo máximo, promedio, mínimo y su Desviación estándar entre 0 y 120 cm. de distancia de plantación para todos los tratamientos de riego durante la temporada.

Tratamiento	Valores	<i>Distancia de la hilera de plantación</i>				
		0	30	60	90	120
T1	<i>Máximo</i>	113.29	105.80	104.87	97.02	102.66
	<i>Promedio</i>	105.77	95.33	96.73	80.92	74.33
	<i>Mínimo</i>	97.54	76.27	85.80	66.53	63.36
	<i>DS</i>	13.22	21.04	23.57	20.18	24.53
T2	<i>Máximo</i>	119.63	105.19	82.05	71.91	90.19
	<i>Promedio</i>	99.73	90.98	67.60	53.92	65.86
	<i>Mínimo</i>	81.70	63.07	57.05	47.72	57.84
	<i>DS</i>	23.28	34.55	26.89	24.61	30.00
T3	<i>Máximo</i>	100.24	89.49	89.90	89.90	95.56
	<i>Promedio</i>	83.16	70.91	78.44	65.24	65.77
	<i>Mínimo</i>	44.88	58.30	68.77	57.20	54.12
	<i>DS</i>	51.87	21.81	18.56	22.55	42.05
T4	<i>Máximo</i>	108.03	101.09	74.00	80.74	87.72
	<i>Promedio</i>	82.82	82.31	57.72	64.50	55.98
	<i>Mínimo</i>	46.04	61.38	32.70	53.54	46.30
	<i>DS</i>	64.33	35.86	39.81	31.02	37.07

Desarrollo radicular

El desarrollo radicular depende entre otros factores del contenido de agua del suelo. La mayor cantidad de raíces se encontró en los tratamientos que recibieron mayores volúmenes de agua en el riego, mientras que los tratamientos donde se encontró una menor cantidad de raíces fue en T3 y T4 alcanzando un 42% del promedio entre T1 y T2.

La distribución de raíces en profundidad (Figura 3) para T1 y T2 presenta una tendencia a concentrarse hasta en un 75% del total en los primeros 40 cm del perfil, mientras que en T3 ésta proporción se alcanza hasta los 60 cm. A medida que disminuye el contenido de agua en el suelo las raíces necesitan explorar a mayores profundidades alcanzando a los 80 cm en T4.

Con respecto a la distribución lateral de raíces (Figura 4) se puede concluir que en promedio para todos los tratamientos de riego bajo la línea de plantación se presenta la menor concentración de raíces. A partir de los 20 cm. de distancia se aprecia un mayor desarrollo para llegar a un máximo a los 100 cm. de distancia de la hilera de plantación.

En riego por goteo el bulbo de mojamamiento presenta distintas zonas de humedad. La más cercana a los goteros es una zona saturada disminuyendo la aireación, lo que limita el desarrollo radicular. A medida que se aleja del gotero se disminuye la humedad y aumenta la aireación llegando a un equilibrio entre las dos fases del suelo lo que aumenta el desarrollo de las raíces en esta zona. Finalmente, hacia la periferia del bulbo, donde la distribución del agua por los goteros no alcanza a mojar el suelo las raíces disminuyen su desarrollo debido a la falta de agua.

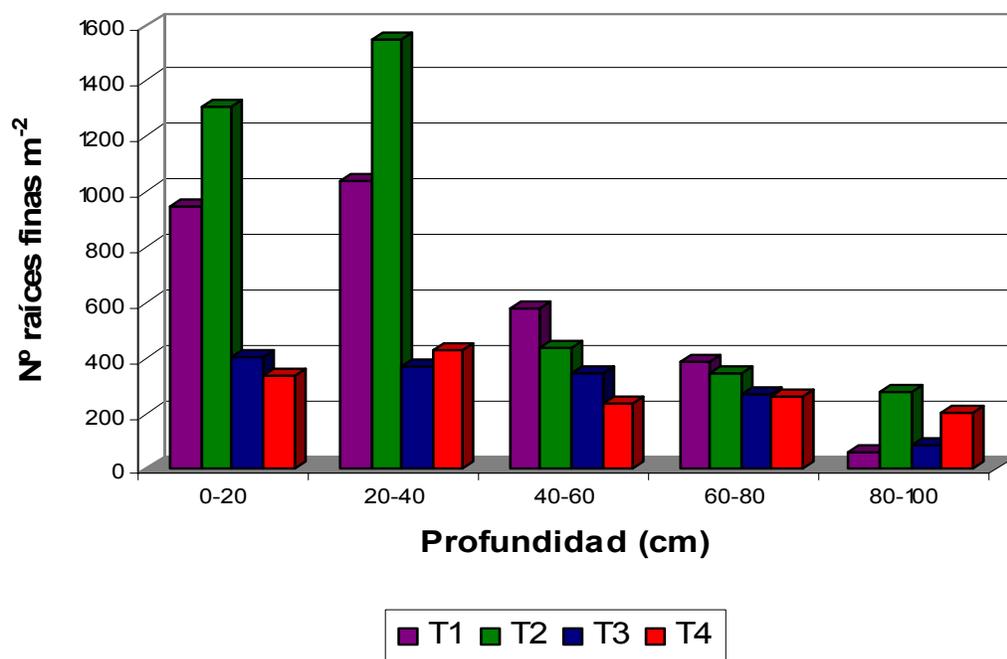


Figura 3. Distribución de raíces finas m^{-2} en profundidad para todos los tratamientos de riego durante la temporada.

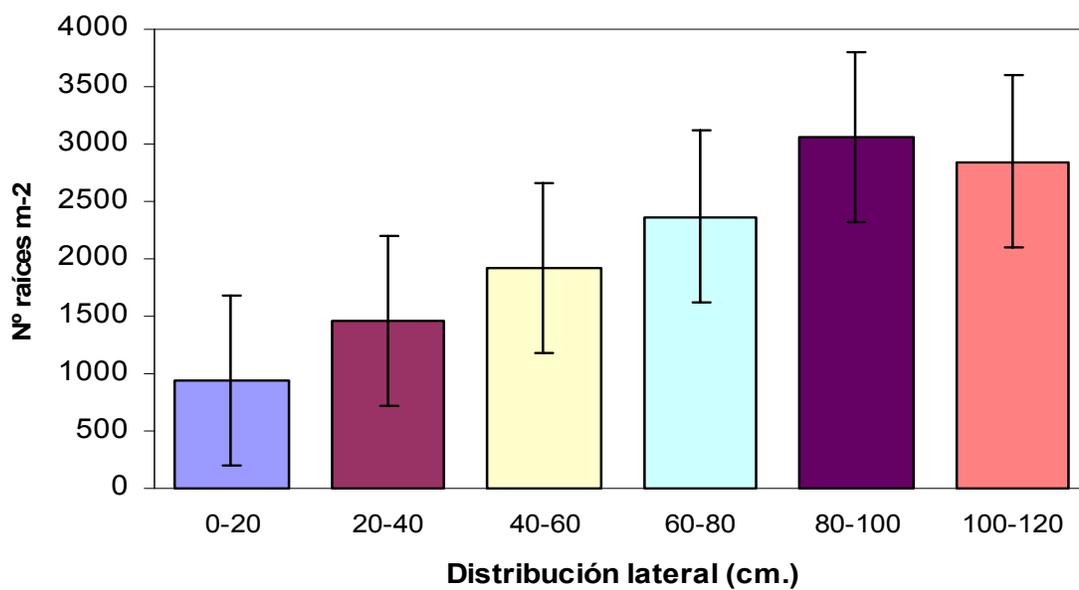


Figura 4. Distribución lateral de raíces finas m^{-2} promedio de todos los tratamientos de riego.

La figura 5 muestra las líneas de nivel de la distribución de raíces y de la distribución de la humedad del suelo promedio durante la temporada para T1. La figura 5-A indica el contenido de agua en el suelo, y la 5-B la distribución radicular. La superficie abarca un metro de profundidad por 1,2 m de distancia lateral desde la planta hacia cada lado de la entrehilera, lo que corresponde a una distancia lateral total de 2,4 m. Para cada coordenada existe un contenido de agua que puede ser asociado a un determinado número de raíces, es así, como se pudo determinar que cuando el contenido de agua en el suelo varía entre 60-70% se asocia a una baja cantidad de raíces (10 mg de raíces cm^{-3}). Mientras cuando el contenido de agua del suelo fluctuó entre 30 y 50% se alcanza entre 20 y 40 mg de raíces cm^{-3} .

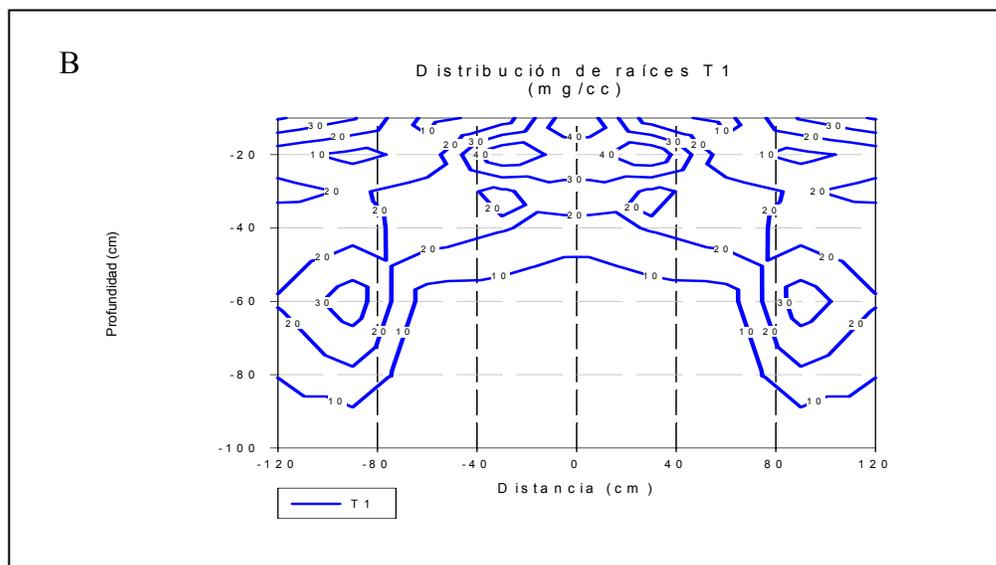
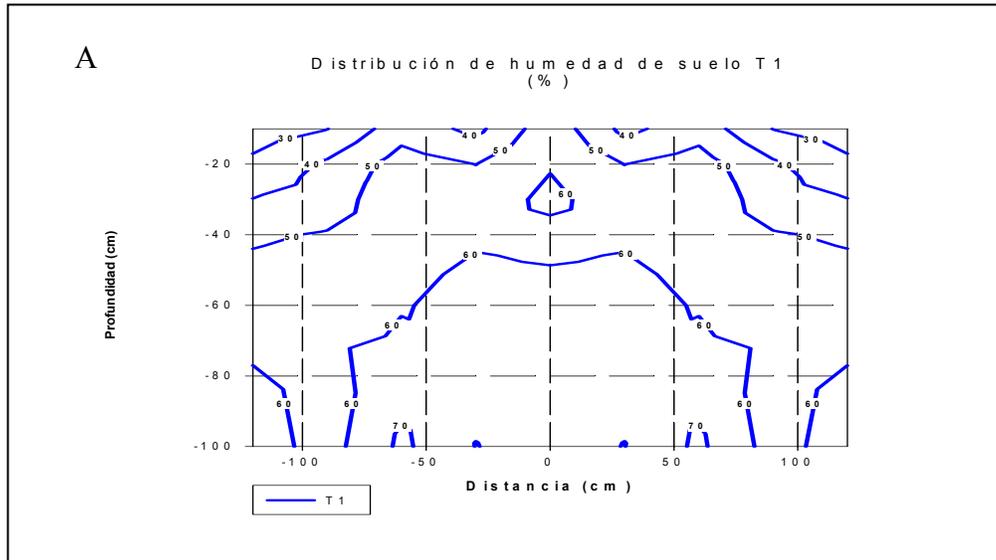


Figura 5. Comparación entre el contenido de agua en el suelo (%) promedio de la temporada y distribución de raíces (mg cm^{-3}) durante la temporada para T1. En el eje de las abscisas esta la distancia de la hilera de plantación, las ordenadas indican la profundidad del perfil y los números interiores corresponden ya sea a contenido de agua en el suelo (A), y la distribución de raíces (B).

Variación del diámetro del tronco

Crecimiento máximo diario

La figura 6 muestra la evolución del crecimiento máximo diario (CMD) acumulado para cada tratamiento de riego durante la temporada. Se pueden distinguir cuatro fases de crecimiento definidas por los estados fenológicos más importantes. La primera, donde no hay crecimiento, se extiende desde brotación hasta aproximadamente inicio de racimo visible (19 DDB). Una segunda fase donde el crecimiento es rápido y que en T1 va desde racimo visible (19 DDB) hasta inicio de pinta (110 DDB). En la tercera fase se observa una detención del crecimiento, entre pinta y plena pinta (151 DDB). Finalmente una cuarta fase donde no hay crecimiento, posterior a plena pinta y hasta el término de la temporada. Myburgh (1996) definió fases de crecimiento de los troncos similares a las determinadas en este ensayo.

El estrés hídrico en las plantas tuvo un efecto en la duración de cada fase de crecimiento descritas anteriormente, es así como la primera duró 21 días para todos los tratamientos, no regándose ninguno. A partir de la segunda fase de crecimiento varió el número de riegos entre tratamientos alcanzando T1 a 13 riegos, T2 se regó en 9 oportunidades, mientras que T3 se regó 1 vez, T4 no se regó, el crecimiento máximo acumulado comenzó a variar según los regímenes de riego aplicados acortando la segunda fase en aquellos tratamientos que recibieron menor volumen de agua (T3 y T4). Durante la tercera y cuarta fase no se aprecia relación entre la duración de éstas y el contenido de agua en el suelo.

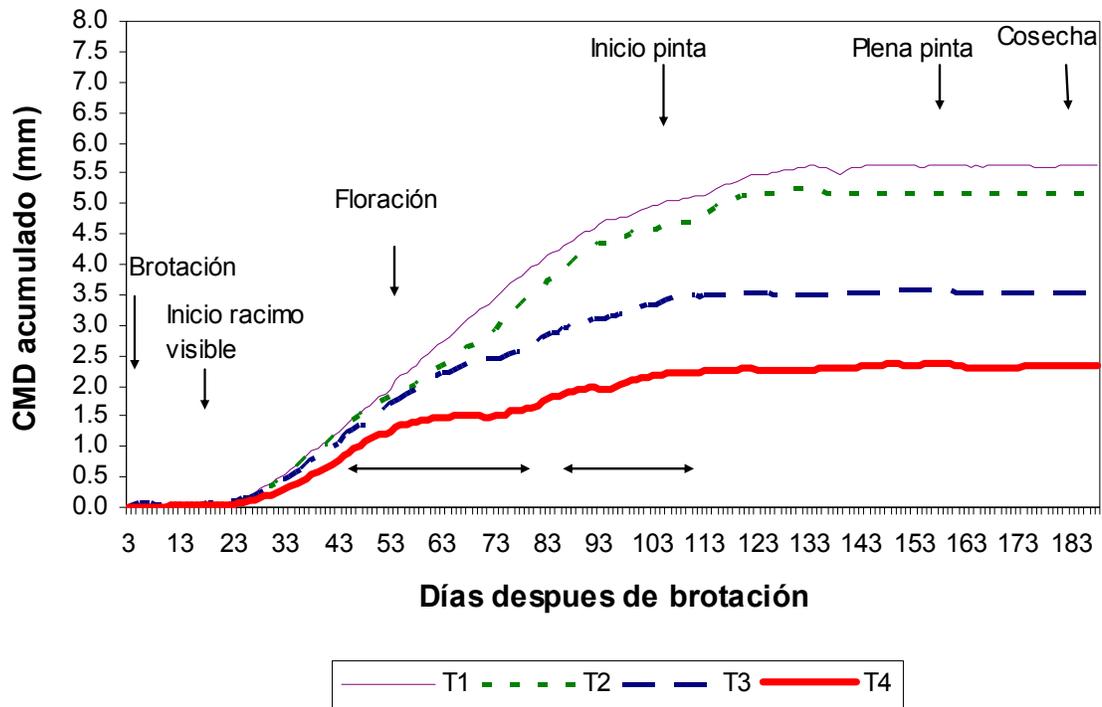


Figura 6. Evolución del crecimiento máximo acumulado para todos los tratamientos de riego durante la temporada. En la parte superior se indican las fases fenológicas. Las flechas de la parte inferior indican la duración de los dos periodos de déficit hídricos en T4.

Con respecto a la magnitud del crecimiento total de la temporada los tratamientos con mayor aplicación de agua (T1 y T2) presentaron tasas de crecimiento muy similares alcanzando un crecimiento de $5.7 \text{ mm temporada}^{-1}$, T3 alcanzó un crecimiento de $3.9 \text{ mm temporada}^{-1}$, en T4 fue de 2.3 mm en la temporada. Resultados obtenidos por Marsal *et al.* (2002), Myburgh (1996) mostraron la misma disminución del crecimiento en tratamientos sometidos a estrés hídrico. También Cohen (1994) concluyó que una reducción importante de agua en el suelo reduce el crecimiento total del diámetro de troncos. La tasa de crecimiento promedio por etapa se presenta en el cuadro 5.

Cuadro 5. Tasa promedio de crecimiento del tronco (TCT, micrones día⁻¹) en diferentes estados fenológicos durante la temporada.

Tratamiento de riego	Cuaja-Inicio pinta	Inicio pinta-Plena pinta	Plena pinta-Cosecha
T1	56.16	34.53	-1.84
T2	52.09	34.87	0.45
T3	26.97	0.25	-1.24
T4	11.83	-1.19	1.74

El comportamiento del tratamiento T4 se explica porque no recibió riego hasta el 80 DDB (3 de Diciembre). La planta utilizó sólo la reserva de agua en el suelo durante este periodo; el crecimiento observado fue menor que en el resto de los tratamientos de riego, lo cual refleja que los procesos de división y elongación celular estarían fuertemente afectadas por el déficit hídrico (Genard *et al.*, 2001).

La figura 7 muestra la relación entre el contenido de agua en el suelo y el CMD para la fase de activo crecimiento de los troncos (19 al 110 DDB). Asociada a estas variables se encontró una relación de 0.46 ($P \leq 0.001$). Cuando el contenido de agua del suelo estuvo 300 y 340 mm el CMD fluctuó entre 45 y 90 micrones (T1) mientras que al presentar contenidos de agua en el suelo entre 170 y 230 mm el CMD fluctuó entre los 2 y 70 micrones (T3 y T4). T1 y T2 fueron los tratamientos con un mayor CMD asociado a altos contenidos de agua en el suelo, mientras que T4 siempre tuvo menores tasas de crecimiento asociadas a menores contenidos de agua en el suelo.

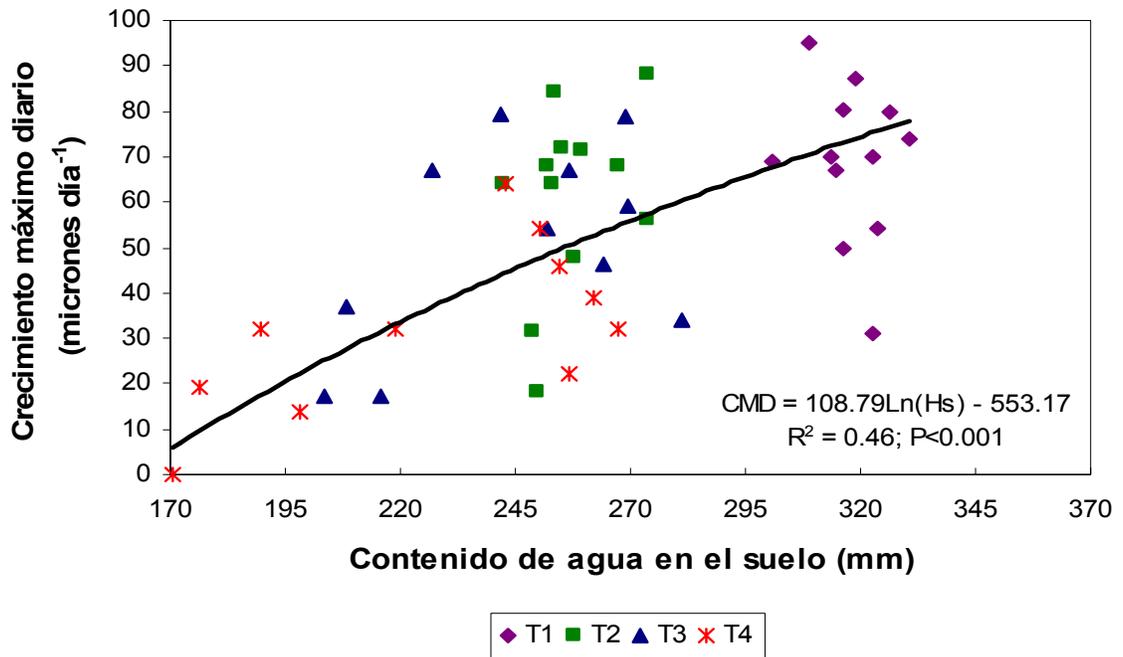
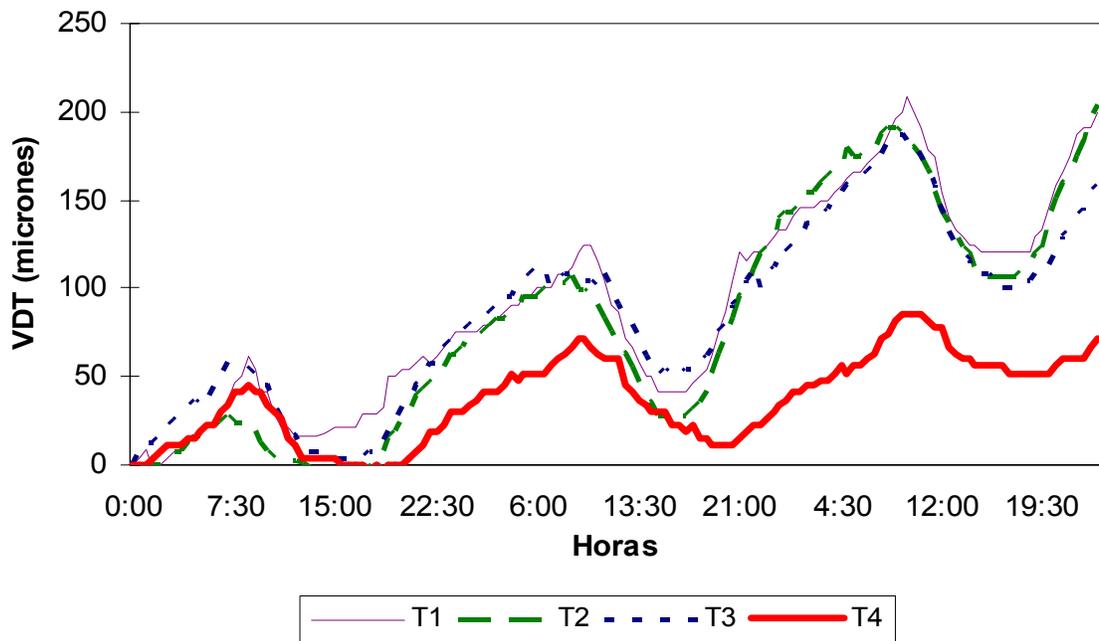


Figura 7. Relación entre el CMD y el contenido de agua en el suelo (CAS) para la fase de activo crecimiento de los troncos. En el ángulo inferior derecho se presenta la relación asociada a estos datos.

En las figuras siguientes se ilustra un análisis más detallado a nivel horario de las diferentes etapas de crecimiento observadas durante la temporada. La figura 8-A, muestra un periodo correspondiente a la segunda fase de crecimiento de los troncos, en la que estos crecen rápidamente y donde se empezaron a notar diferencias entre los tratamientos. El CMD más alto se presentó en los tratamientos mejor regados, presentando un incremento medio diario de 56 micrones para T1, 52 micrones para T2, 37 y 24 micrones para T3 y T4 respectivamente. Para este periodo se registró que T1, T2 y T3 tuvieron una variación muy similar, alcanzando valores máximos y mínimos diarios semejantes en magnitud y simultáneos en el tiempo. El tratamiento sometido a estrés hídrico (T4) presentó una menor magnitud en los valores máximos diarios.

La figura 8-B muestra la evolución del diámetro del tronco, para un periodo de la tercera fase de crecimiento. Durante este periodo el crecimiento se redujo drásticamente en comparación a la etapa anterior, con un crecimiento medio diario para el periodo de 3, 4, 5 y 6 micrones para T1, T2, T3 y T4 respectivamente, lo que indica que durante esta fase de crecimiento no hay relación clara entre el estrés hídrico en la planta y la detención del crecimiento.

(A)



(B)

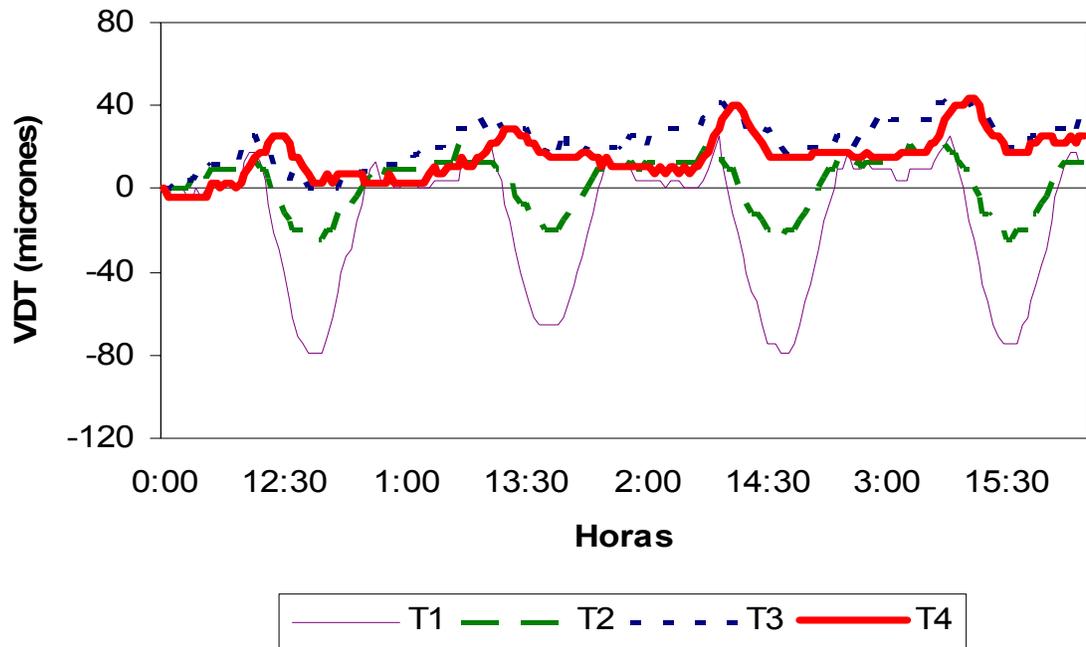


Figura 8. Crecimiento y contracciones del diámetro del tronco para todos los tratamientos de riego; (a) entre el 79 y 81 DDB (3 y 5 de Diciembre), fase de activo crecimiento, y (B) entre el 144 y 146 (7 y 9 de Febrero), tercera fase de crecimiento durante la temporada 2003-2004. Cada curva representa una planta.

De los resultados presentados se puede concluir que el mayor crecimiento de los troncos se presentó en aquellos tratamientos que recibieron más agua; mientras que el menor crecimiento se presentaron en T4, tratamiento que fue sometido al mayor estrés hídrico desde inicio de la temporada. Las fases de crecimiento de los troncos están determinadas por estados fenológicos de las bayas. La mayor tasa de crecimiento ocurre entre inicio de racimo visible hasta inicio de pinta, posteriormente y hasta plena pinta, el crecimiento se detiene, resultados similares fueron presentados por Myburgh (1996) en la variedad Barlinka.

Amplitud de la contracción máxima diaria

La Amplitud de la Contracción Máxima (ACM) responde a las variaciones de la demanda atmosférica y al contenido de agua en el suelo. A mayor DPV del aire mayor contracción y a menor contenido de agua en el suelo mayor ACM (Garnier y Berger, 1986), esto último dentro de ciertos límites, ya que en condiciones de déficit muy fuertes las contracciones disminuyen, como consecuencia de la pérdida de agua de las células (Goldhamer *et al.*, 1999; Moriana y Fereres, 2002).

La figura 9 muestra la tendencia del DPV y de la ACM para todos los tratamientos de riego. Las mayores ACM se observaron en T1 y T2. El tratamiento T3 presentó las más altas contracciones próximo al día 75 DDB mientras que el tratamiento deficitario (T4) durante toda la temporada tuvo menores ACM que todos los otros tratamientos, alcanzando su máximo (55 micrones) el día 75 DDB. El tratamiento con mayores contenidos de agua (T1) presentó las más altas contracciones al inicio de pinta (24,8 mm).

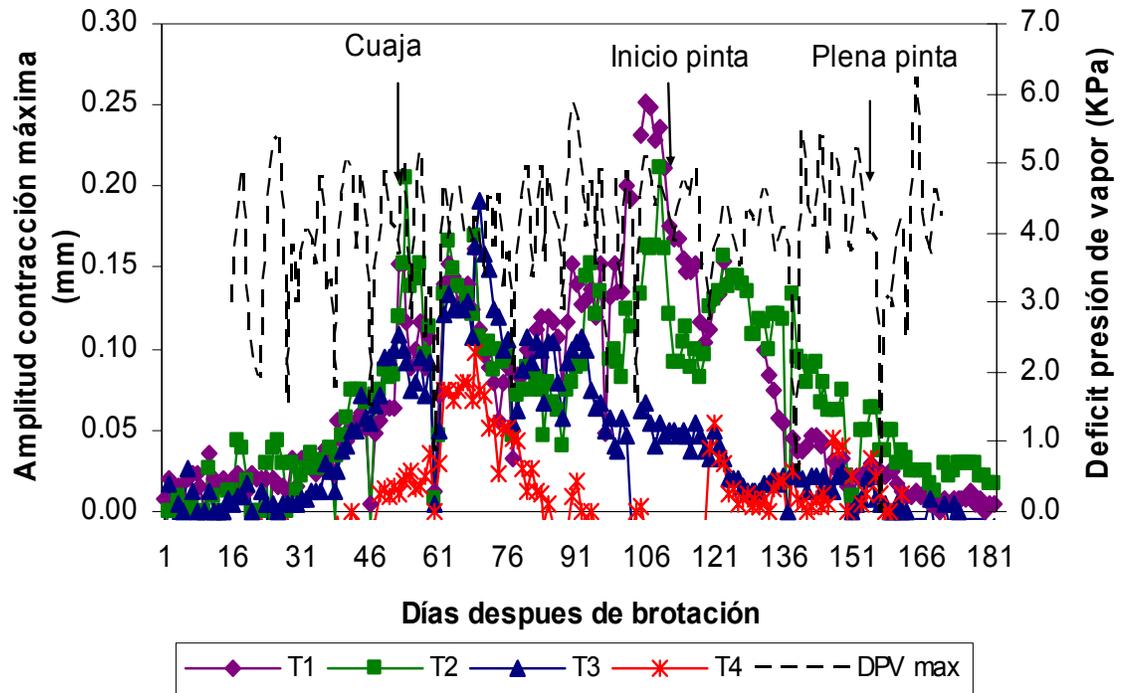


Figura 9. Evolución de la magnitud de la contracción máxima diaria (ACM) para todos los tratamientos de riego para la temporada 2003-2004.

Las mayores contracciones asociadas a altos contenidos de agua en el suelo se presentaron en T1. Altos contenidos de agua en el suelo (cerca o por sobre CDC) disminuyen su aireación y aumentan la resistencia radicular a la absorción de agua (Azcon-Bieto y Talón, 2000), lo que conlleva a problemas de anoxia radicular (Garnier and Berger, 1986). Esto asociado a una alta demanda evaporativa atmosférica aumenta el flujo de agua desde los tejidos elásticos del xilema, aumentando la ACM. En el cuadro 2 se muestra que parte del suelo se encontró por sobre CDC. Estudios realizados en el Valle de Aconcagua (Sellés *et al.*, 1999) muestran que el suelo presenta baja macroporosidad por lo cual los problemas de aireación son habituales. Garnier y Berger (1986) en durazneros también observaron aumentos en la ACM luego de suplir a través del riego el 100% de la ETC, mediante aspersión. Esta situación no afectó la rehidratación de los tejidos, ya que el crecimiento en

T1 fue superior a los demás tratamientos, permitiendo que éste mayor volumen de agua almacenada pueda quedar nuevamente disponible para ser utilizada en la transpiración del día siguiente.

En T4, que fue sometido a un proceso de estrés muy fuerte al no ser regado durante un periodo superior a 30 días a inicio de temporada, mostró una disminución de la ACM probablemente asociada a una pérdida de elasticidad y rigidización de las células sometidas a un déficit hídrico severo (Genard *et al.*, 2001). Recientes estudios muestran una alta sensibilidad de la ACM a cambios en el módulo elástico y en la presión umbral en las paredes celulares de los tejidos elásticos del tronco (Genard *et al.*, 2001). Además, a la mayor rigidez de las células se le debe agregar una menor rehidratación nocturna de los tejidos, disminuyendo el agua disponible para la planta y aumentando la pérdida de elasticidad de los tejidos.

Tanto la contracción como la expansión del diámetro del tronco tienen lugar en los tejidos elásticos ubicados fuera del xilema muerto e incluye el floema y cambium vascular (Koslowski, 1972). Las propiedades elásticas y de extensibilidad de los tejidos dependen a su vez del estado fenológico en que se encuentre la planta y de los reguladores hormonales (Bradford y Hsiao, 1982). Varios autores han encontrado que la ACM aumenta a medida que disminuye el contenido de agua en el suelo (Garnier and Berger, 1986; Myburgh, 1996). Esto se debería a que cuando disminuye el flujo de agua desde el suelo, mayor es el uso de las reservas propias de la planta aumentando el flujo radial de agua en los troncos, lo que se refleja en aumentos de la ACM. Sin embargo, esto se produce dentro de ciertos límites, ya que al contrario de lo descrito anteriormente se observó que en condiciones extremas de déficit hídrico las contracciones tienden a disminuir, como se observa en la figura 9. Similares resultados se han reportado por Sellés y Berger en durazneros (1994), por Myburg (1996) en vides variedad Barlinka y por Moriana y Fereres. (2002) en olivos.

Aquellos tratamientos sometidos a déficit hídricos moderados (T2 y T3) fueron los que presentaron un comportamiento coincidente con la mayor parte de la literatura donde se indica que a medida que el contenido de agua en el suelo disminuye las contracciones aumentan (Garnier and Berger, 1986; Cohen, 1994; Sellés y Berger, 1994; Myburgh, 1996 y Moriana y Fereres, 2002). La figura 10 muestra la relación entre el Contenido de agua en el suelo y la ACM para T2 y T3 durante la fase de crecimiento activo de los troncos. Existe una alta relación entre estos dos tratamientos de riego ($R^2: 0.60; P<0.001$) y el contenido de agua en el suelo. A medida que el contenido de agua en el suelo disminuye las contracciones aumentan hasta un determinado momento a partir del cual éstas empiezan a disminuir. Cohen (1994), indica que la ACM es un buen indicador del estado hídrico de la planta, pero problemas de anoxia de árboles regados en exceso podrían limitar el empleo de esta técnica (Goldhamer y Fereres, 2001).

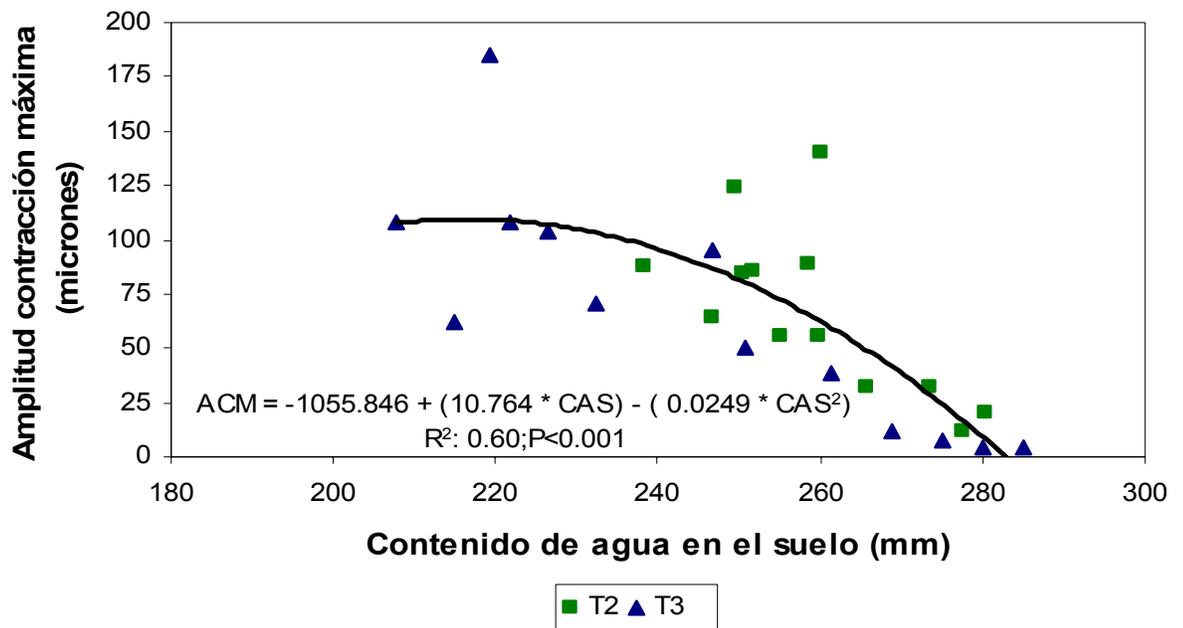


Figura 10. Relación entre el contenido de agua en el suelo (CAS) y la ACM durante la fase de activo crecimiento de los troncos para T2 y T3 durante la temporada 2003-2004. En el ángulo inferior izquierdo se muestra la relación asociada a estas dos variables.

Crecimiento del tronco y crecimiento de la baya.

El crecimiento de la baya se caracteriza por una curva doble sigmoidea donde se distinguen tres fases. La primera donde el fruto experimenta una fuerte división celular, seguida de una segunda fase donde principalmente las células sufren un proceso de elongación y finalmente el fruto cesa su crecimiento y madura (fase III). Entre cuaja y pinta (Fase I y II) la fruta alcanza el 80% de su tamaño final (Azcon-Bieto y Talon, 2000). El régimen de riego tuvo un claro efecto sobre el crecimiento de los troncos, el cual mostró ser un indicador sensible al déficit hídrico, se encontró una alta correlación entre la tasa de crecimiento del tronco (CMD acumulado) y la tasa de crecimiento de la baya entre cuaja y pinta (R^2 : 0.81; $p < 0.005$) para todos los tratamientos de riego. La figura 19 muestra la evolución del diámetro del tronco y el crecimiento de la baya para T1, en ambos el crecimiento es exponencial entre cuaja y hasta la pinta por lo que la tasa de crecimiento del tronco podría ser un predictor adecuado del crecimiento de las bayas. El impacto del déficit hídrico en el comportamiento de los árboles también puede ser evaluado en términos de crecimiento del fruto (Goldhamer *et al.*, 1999), pero al analizar el crecimiento de ambos se puede determinar que, entre las fases I y II, una reducción de entre el 36 y 60% en la tasa de crecimiento del tronco, resultado de los regímenes de riego, se asoció sólo con una reducción en un 3 y 11% del tamaño de la fruta, indicando que frente a un déficit hídrico el crecimiento del tronco es más sensible y precoz que el crecimiento de la fruta, pudiendo ser utilizado como estrategia de manejo de riego optimizando el desarrollo de la planta entre cuaja y pinta asegurando un calibre adecuado la baya a cosecha.

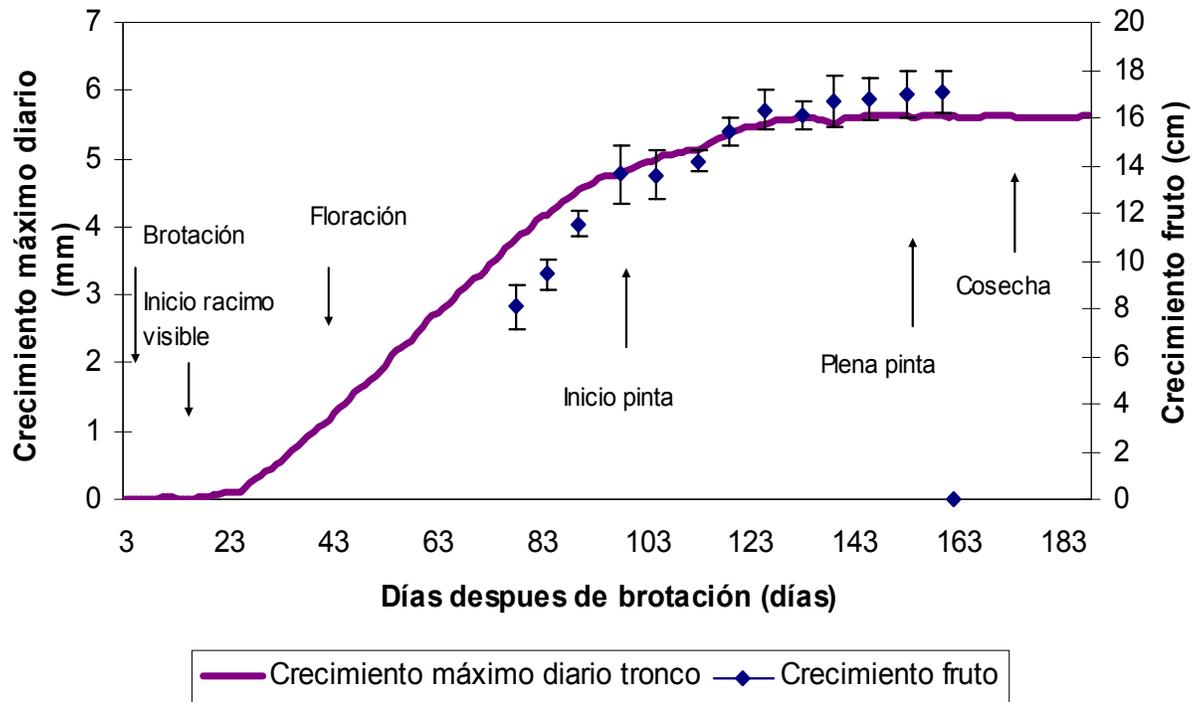


Figura 19. Tendencia del diámetro del tronco estacional y tamaño de la baya (mm) para T1 durante la temporada.

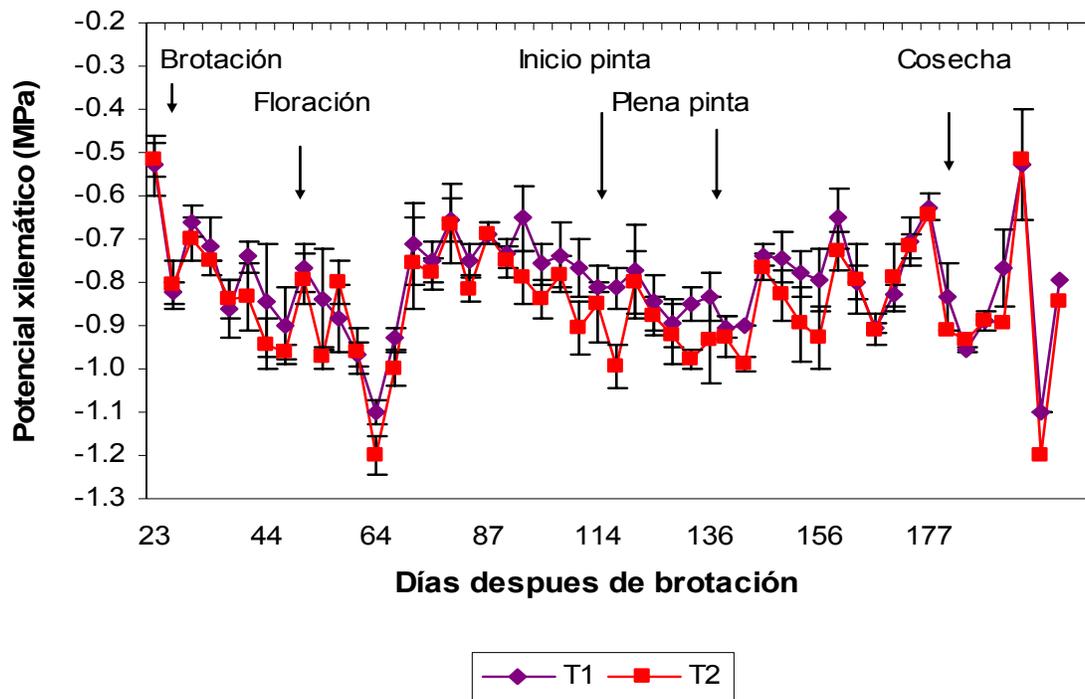
Potencial hídrico xilemático

Evolución del potencial xilemático a lo largo de la temporada

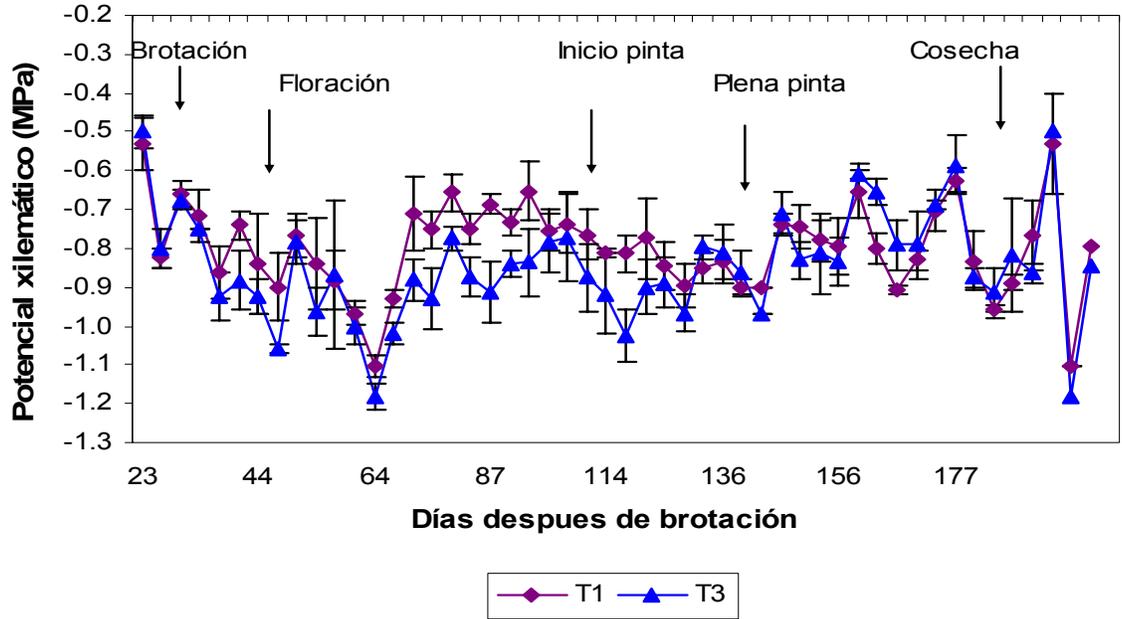
En la figura 11 se presenta la evolución estacional del Px. La figura A muestra la tendencia de T1 y T2, la B indica la tendencia de T1 y T3, mientras que la figura C indica la tendencia de T1 y T4. Los mayores valores Px medidos a medio día se presentaron al inicio de la temporada en todos los tratamientos de riego y variaron entre -0.5 para T1, T2 y T3,

mientras que para T4 fue -0.3 MPa. Ferreyra *et al.* (1997), Intrigliolo y Castel (2004), también determinaron que la evolución de los potenciales xilemáticos mínimos diarios tienden a disminuir a lo largo de la estación. Esto se asocia a una mayor demanda por agua, asociada a condiciones ambientales más exigentes, junto a la edad de las hojas. Los valores mínimos coincidieron en la misma fecha para los 4 tratamientos de riego, el día 65 DDB, alcanzando T1 -1.1 MPa, mientras que T2, T3 y T4 fue alrededor de -1.2 MPa.

(A)



(B)



(C)

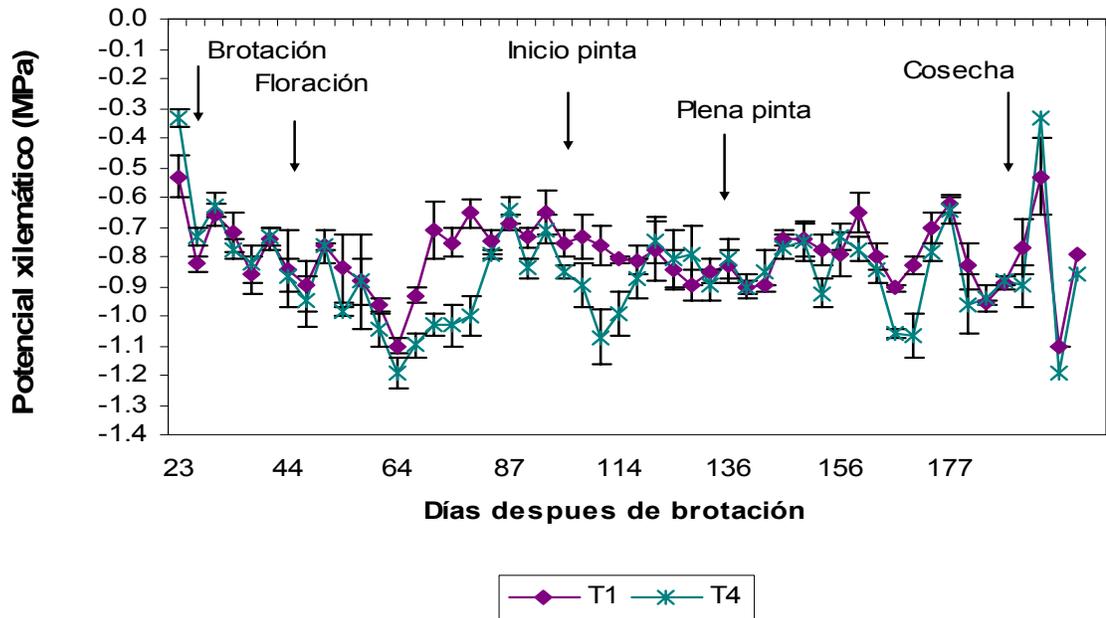


Figura 11. Evolución del potencial hídrico xilemático (Px) mínimo diario para todos los tratamientos de riego durante la temporada 2003-2004. La figura A muestra la tendencia de T1 y T2, la B indica la tendencia de T1 y T3, mientras que la figura C indica la tendencia de T1 y T4. Además se indican algunos estados fenológicos.

El cuadro 6 muestra que existieron diferencias significativas entre tratamientos de riego para las etapas definidas según niveles críticos de humedad del suelo a los que fue sometido T4. La primera desde inicio de temporada hasta el 78 DDB (fecha en que el suelo presentó el menor contenido de agua según el tratamiento más estresado, T4). La segunda desde el 79 al 110 DDB (segunda fecha de mayor agotamiento de agua en el suelo en T4). Finalmente la tercera etapa abarcó desde el 111 DDB hasta el final de la temporada. No existieron diferencias significativas entre T2 y T3 hasta el día 110 DDB. Entre T1 y T3 existieron diferencias significativas hasta el día 110 DDB, siendo T3 el tratamiento con los potenciales xilemáticos más negativos, y donde las mayores diferencias se presentaron entre los 70 a 93 DDB y entre 114 y 126 DDB (Figura 11-B). Entre T1 y T4 (Figura 11-C) estas diferencias fueron entre 64 a 79 y entre 98 a 114 DDB. Cuando se reanudó el riego después del déficit hídrico en T4, los valores de Px fueron similares a T1 y T2 (100 y 75% de la Etc). Tendencias similares fueron encontradas por Intrigliolo (2003).

Cuadro 6. Efecto de los tratamientos de riego en el Px a medio día determinando tres etapas según niveles críticos de humedad en T4.

Periodo (DDB)	Tratamiento de riego			
	T1	T2	T3	T4
	-----Potencial xilemático (Px, MPa)-----			
3-78	-0.80 a	-0.83 ac	-0.87 bc	-0.87 b
79-110	-0.74 a	-0.80 b	-0.82 b	-0.83 b
111-188	-0.80 a	-0.85 b	-0.80 a	-0.86 b

1/ Letras iguales en la misma fila señalan que no hay diferencias significativas de acuerdo a la prueba de comparación múltiple de Tuckey.

La figura 12 muestra la relación entre el potencial xilemático y el contenido de agua del suelo para todos los tratamientos de riego. Cuando el contenido de agua en el suelo supera los 300 mm los Px fluctúan entre -0.6 y -1.1 MPa, a medida que el suelo se seca (menos de 300 mm) los Px tienden a ser más negativos alcanzando valores de -1.2 MPa.

Son varios los factores que influyen sobre el potencial hídrico de las plantas, entre otros la disponibilidad de agua en el suelo y la demanda evaporativa de la atmósfera. A mayores contenidos de agua en el suelo no se presenta relación con el Px (T1 y T2), sin embargo, a medida que el contenido de agua en el suelo disminuye o es variable durante la temporada se observa una mayor relación entre estas variables como muestra la figura 12 ($R^2: 0.6$; $P<0.01$). Garnier and Berger (1987) encontraron una relación similar cercana a 0.75.

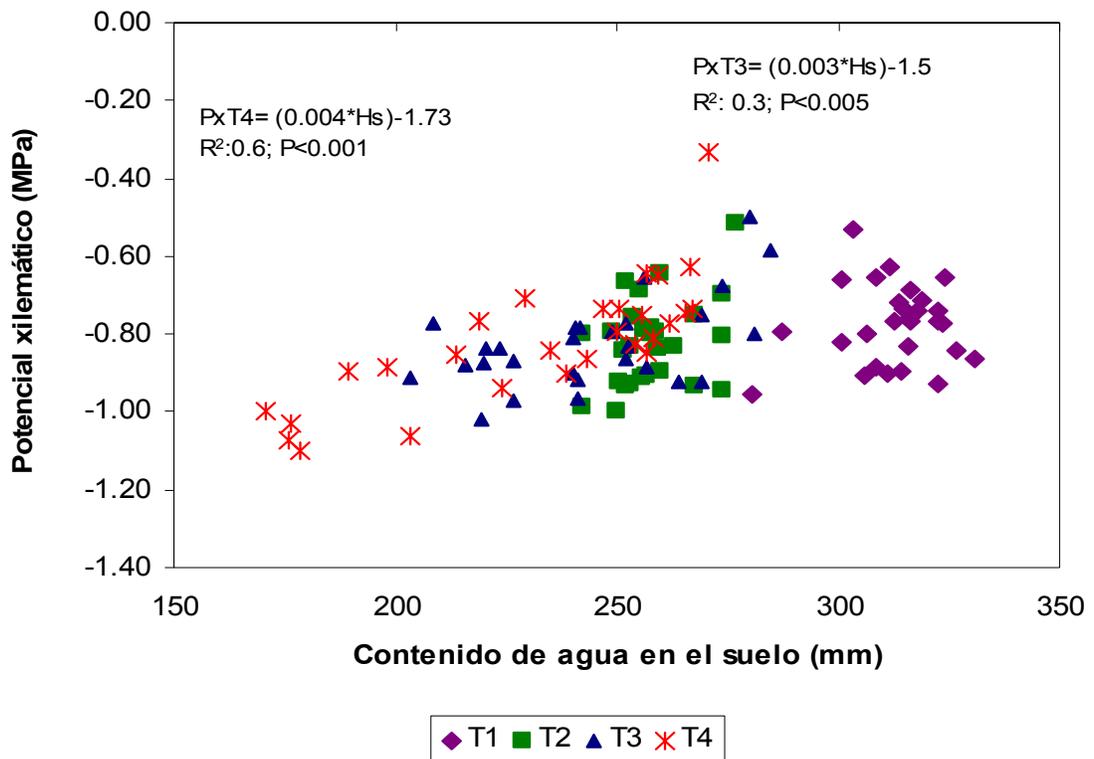


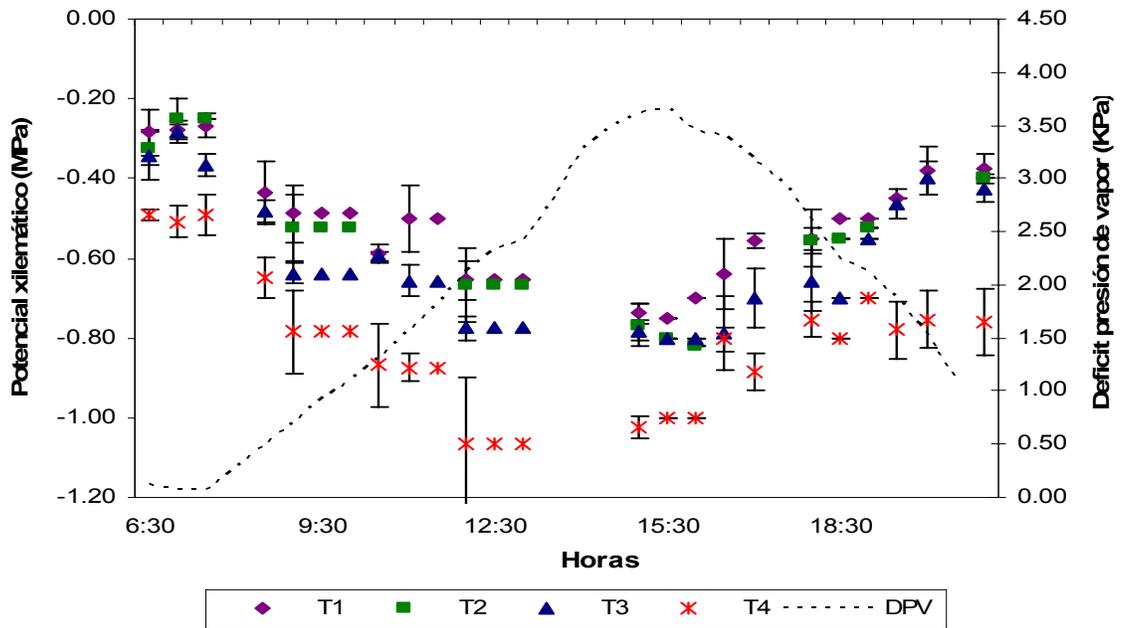
Figura 12. Relación entre el contenido de agua en el suelo (CAS) y el Potencial xilemático (Px) durante la temporada 2003-2004 para cada tratamiento de riego.

Curso diario de la variación del diámetro del tronco y del potencial xilemático

Las figuras 13 (A y B) presentan la evolución de la VDT, el Px y el DPV, con el objeto de establecer y analizar el comportamiento de estos dos parámetros para el día 80 DDB, coincidente con la máxima situación de estrés hídrico a la que fue sometido T4 durante esta temporada. Se indica también el contenido de agua en el suelo a la fecha. Los Px base variaron entre -0.28 para T1 y -0.49 para T4 los tratamientos T2 y T3 presentaron valores intermedios (-0.33 y -0.34 MPa). Los valores mínimos diarios medidos se presentaron entre las 12 y las 15 horas y fueron de -0.75 MPa para T1, -0.79 y -0.78 MPa para T2 y T3, y -1.03 MPa para T4. Existiendo diferencias entre T4 y los otros tratamientos para cada hora de medición (Cuadro 7).

En el caso de la VDT (figura 13-B), el comportamiento de T4 se diferencia claramente del resto de los tratamientos presentando una reducción del diámetro que alcanza su valor mínimo mas tarde en el día (18 horas) e inicia su recuperación cerca de las 20 horas. Durante este periodo la magnitud del crecimiento para cada tratamiento de riego fue de 68 mm para T1, 54 mm para T2, 37 mm para T3 y T4 no presentó crecimiento siendo claramente afectado por el déficit hídrico.

(A)



(B)

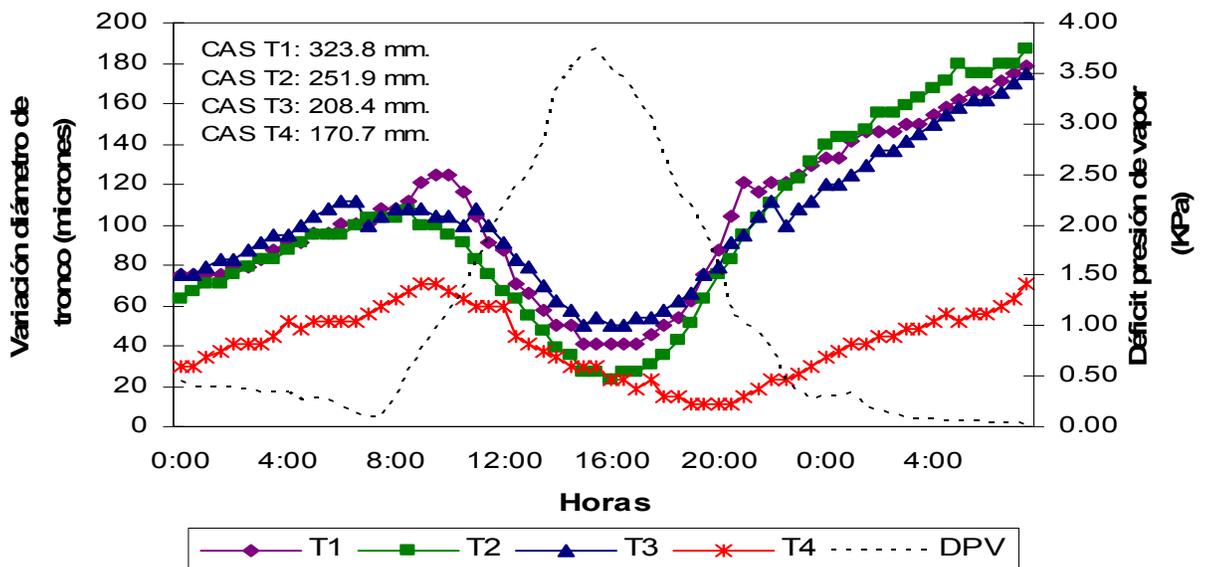


Figura 13. Evolución diaria del (A) potencial hídrico xilemático (Px, MPa), (B) la variación del diámetro del tronco (VDT, micrones) y el DPV (KPa) para el día 80 DDB (4 de Diciembre de 2003). El contenido de agua en el suelo medido el mismo día para cada tratamiento de riego se indica por CAS.

Cuadro 7. Efecto de los tratamientos de riego en el potencial hídrico xilemático para el 80 DDB (4 de Diciembre de 2003).

Hora de medición	Tratamiento de riego			
	T1	T2	T3	T4
	-----Potencial hídrico xilemático (MPa)-----			
6:00	-0.28 a	-0.32 a	-0.34 a	-0.49 b
9:00	-0.51 a	-0.54 ac	-0.65 c	-0.83 b
12:00	-0.67 ac	-0.62 a	-0.78 c	-1.12 b
15:00	-0.75 a	-0.79 a	-0.78 a	-1.03 b
18:00	-0.55 a	-0.56 a	-0.69 b	-0.74 b
21:00	-0.37 a	-0.4 a	-0.42 a	-0.76 b

1/ Letras iguales en la misma fila señalan que no hay diferencias significativas de acuerdo a la prueba de comparación múltiple de Tuckey.

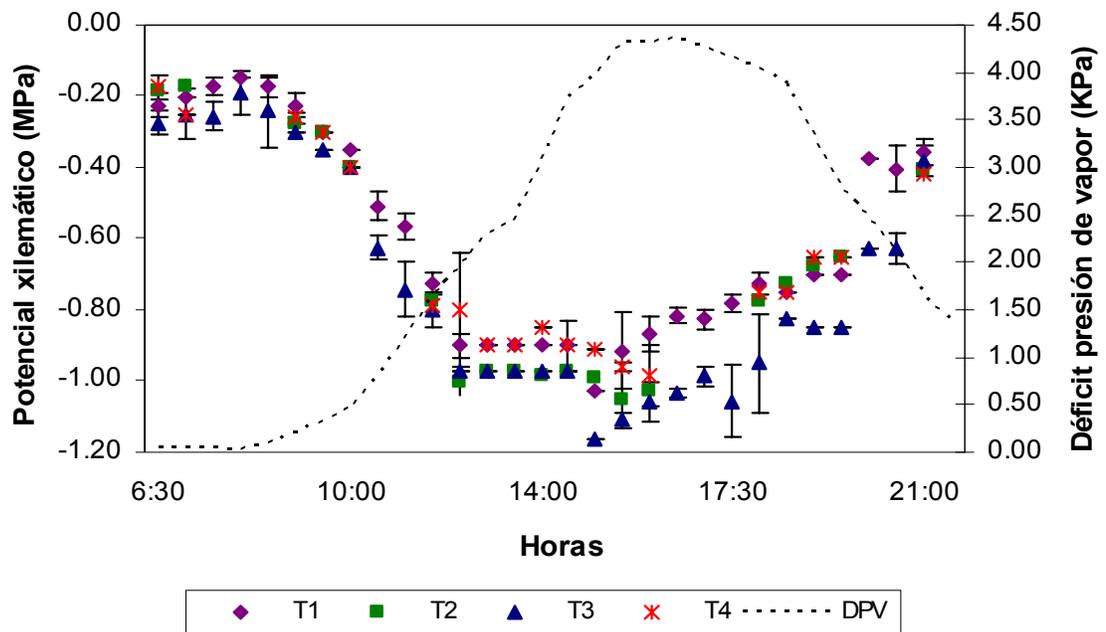
La figura 14 muestra la tendencia diaria del Px, de la VDT y del DPV para el día 143 DDB, entre pinta y cosecha para ilustrar el comportamiento de estas variables durante la fase en que hay una detención en el crecimiento de los troncos. El contenido de agua en el suelo promedio de los primeros 60 cm de profundidad fue de 306 mm para T1 y 235 mm para T4.

El Px varía entre -0.18 (T2 y T4), -0.23 MPa para T1 y -0.28 MPa (T3) no presentando diferencias significativas entre tratamientos de riego. El potencial mínimo diario se registró a las 15 horas y fue entre -0.91 (T4) y -1.3 MPa (T2). Se presentaron diferencias estadísticamente significativas ($P < 0.05$) entre tratamientos de riego principalmente entre las 15 y 18 Horas, periodo que correspondía a los valores mínimos diarios, a las 15 horas T2 se diferenció de T1 y T4; mientras que a las 18 horas todos los tratamientos comenzaron a estabilizarse y no presentaron diferencias entre ellos (Cuadro 8).

Los ciclos diarios permiten determinar que tanto el inicio del periodo de contracción de los troncos como su recuperación se producen con un retardo respecto del Px, antes y después

de pinta. Esta fase de retraso ha sido discutida en la literatura por Garnier and Berger (1986). Independiente del régimen de riego, después del periodo de pinta no hay crecimiento del diámetro de los troncos, ni diferencias en el Px, lo que se puede atribuir a la mayor demanda de la fruta al inicio de pinta (Myburgh, 1996). La magnitud del CMD tuvo una estrecha relación con el estado hídrico de las plantas, a mayor contenido de agua en el suelo y mayor potencial hídrico, mayor CMD. Plantas sujetas a déficit hídricos fuertes desde inicio de brotación presentan un bajo CMD, lo que reflejaría un efecto sobre el crecimiento celular y sobre la elasticidad de las paredes celulares.

(A)



(B)

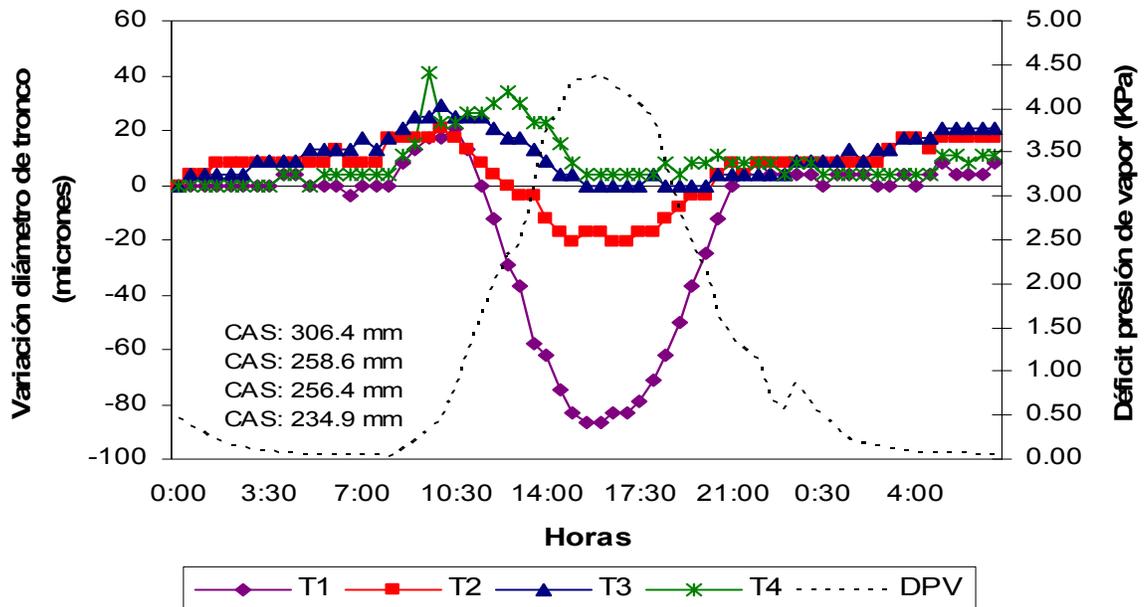


Figura 14. Evolución diaria de (A) VDT (micrones). (B) del potencial hídrico xilemático (Px, MPa) y el DPV (KPa) para el día 143 DDB (6 de Febrero de 2004). El contenido de agua en el suelo medido el mismo día para cada tratamiento de riego se indica por CAS.

Cuadro 8. Efecto de los tratamientos de riego en cada una de las horas de medición del potencial hídrico xilemático para el 6 de febrero de 2004.

Hora de medición	Tratamiento de riego			
	T1	T2	T3	T4
	-----Potencial hídrico xilemático promedio-----			
	(MPa)			
6:00	-0.23 a	-0.18 a	-0.28 a	-0.18 a
9:00	-0.23 a	-0.28 a	-0.30 a	-0.27 a
12:00	-0.74 a	-0.77 a	-0.80 a	-0.79 a
15:00	-1.02 a	-1.32 bc	-1.17 ac	-0.91a
18:00	-0.73 b	-0.78 b	-0.28 a	-0.18 a
21:00	-0.23 a	-0.28 a	-0.30 a	-0.26 a

1/ Letras iguales en la misma fila señalan que no hay diferencias significativas de acuerdo a la prueba de comparación múltiple de Tuckey.

Temperatura de la canopia

Los valores máximos durante la temporada fueron 32.7 °C, 34 °C, 35.3 °C y 35 °C para T1, T2, T3 y T4 respectivamente, mientras que los valores mínimos fueron para T1 24 °C, para T2 y T3 fue de 26 °C, y para T4 de 25 °C. En el cuadro 9 se muestra un análisis de varianza para todos los tratamientos de riego diferenciando las siguientes etapas definidas según los niveles críticos de humedad del suelo a los que fue sometido T4. La primera desde inicio de temporada hasta el 78 DDB (fecha en que el suelo presentó el menor contenido de agua según el tratamiento más estresado, T4). La segunda desde el 79 al 110 DDB (segunda fecha de mayor agotamiento de agua en el suelo en T4). Finalmente la tercera etapa abarcó desde el 111 DDB hasta el final de la temporada. En todas las etapas el tratamiento T1 fue estadísticamente diferente a T3 y T4 ($P < 0.005$), mientras que estas diferencias no fueron importantes con respecto T2. La temperatura de la hoja fue más alta en los tratamientos sometidos a estrés hídrico en comparación con aquellos tratamientos que recibieron mayores volúmenes de agua durante la temporada (T1 y T2) bajo la misma demanda atmosférica, esto puede ser causado por un cierre estomático parcial, lo que reduce la transpiración causando un aumento de la temperatura foliar de aquellos tratamientos menos regados.

Cuadro 9. Efecto de los tratamientos de riego en la temperatura de hoja medida a medio día determinando tres etapas según niveles críticos de humedad en T4.

Periodo (DDB)	Tratamiento de riego			
	T1	T2	T3	T4
	-----Temperatura de hoja promedio----- (T°, °C)			
3-78	29.56 b	30.02 b	31.88 a	32.21 a
79-110	29.39 bc	30.30 ac	31.65 a	32.00 a
111-188	27.34 b	29.80 a	29.54 a	29.49 a

1/ Letras iguales en la misma columna señalan que no hay diferencias significativas entre tratamientos de riego de acuerdo a la prueba de comparación múltiple de Tuckey.

Evolución diaria de la temperatura de la canopia.

La figura 15 muestra la evolución de la temperatura de la canopia, de la temperatura del aire y del DPV para el día 113 DDB a modo de ilustrar el comportamiento de éstas variables bajo una alta situación de estrés hídrico en T4. La temperatura de la hoja sigue la misma tendencia de la temperatura del aire y del DPV. En la mañana cuando el DPV es bajo la temperatura de la hoja presenta su valor mínimo diario (23-27 °C). En el transcurso del día cuando la demanda atmosférica es más alta la temperatura de la hoja aumenta hasta alcanzar un máximo (30-35 °C) alrededor de las 15 horas. Posteriormente durante la tarde la temperatura de la hoja disminuye al igual que la demanda atmosférica alcanzando valores similares a los presentados al inicio del día. El tratamiento T1 presentó diferencias estadísticamente significativas con T3 y T4 ($P < 0.05$) por efecto del déficit hídrico.

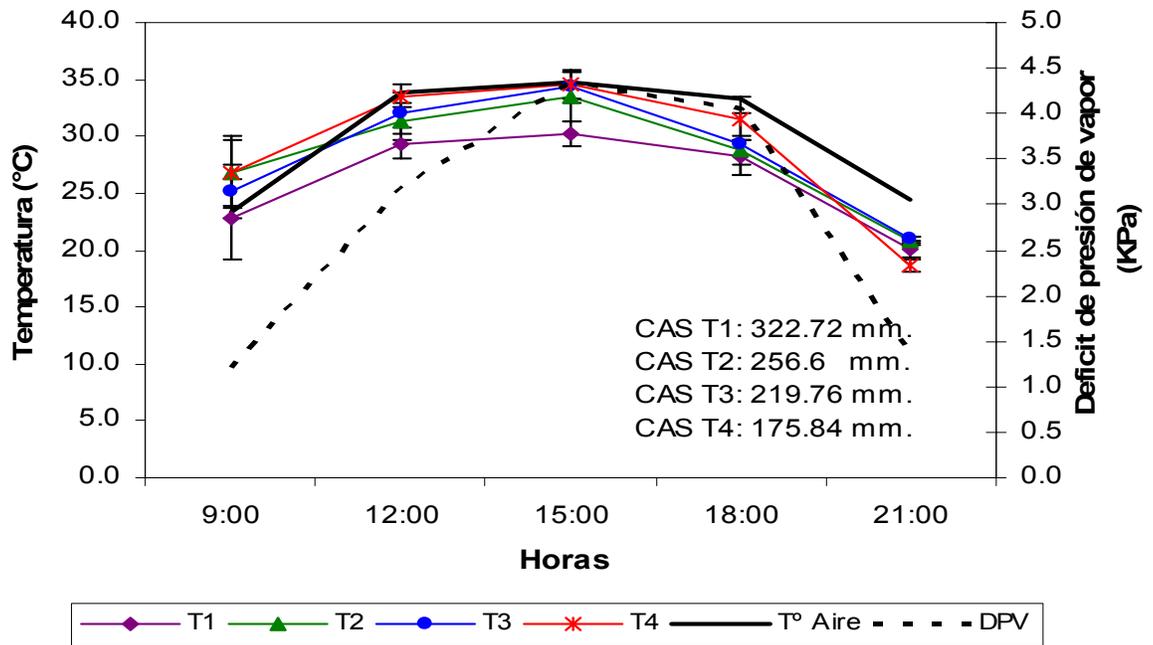


Figura 15. Evolución diaria de la temperatura de la canopia (°C), temperatura del aire (°C) y del déficit de presión de vapor (DPV; KPa) para el día 113 DDB. En el ángulo inferior derecho se presenta el contenido de agua en el suelo para el mismo día.

Diferencia de temperatura entre la canopia y el aire

La figura 16 muestra la evolución de la diferencia de temperatura canopia-aire ΔT° (°C) medido a medio día para los tratamientos T1 y T4. Las mayores ΔT° se presentan para T1 el día 72 DDB, esto indica que la temperatura del aire fue mayor que la alcanzada por la canopia mostrando una regulación de la temperatura de la hoja provocada por una mayor transpiración en comparación al tratamiento sometido a estrés hídrico, que presenta una menor capacidad de regulación de la temperatura de la hoja. El contenido de agua en el suelo este día fue uno de los más bajos de la temporada en T4.

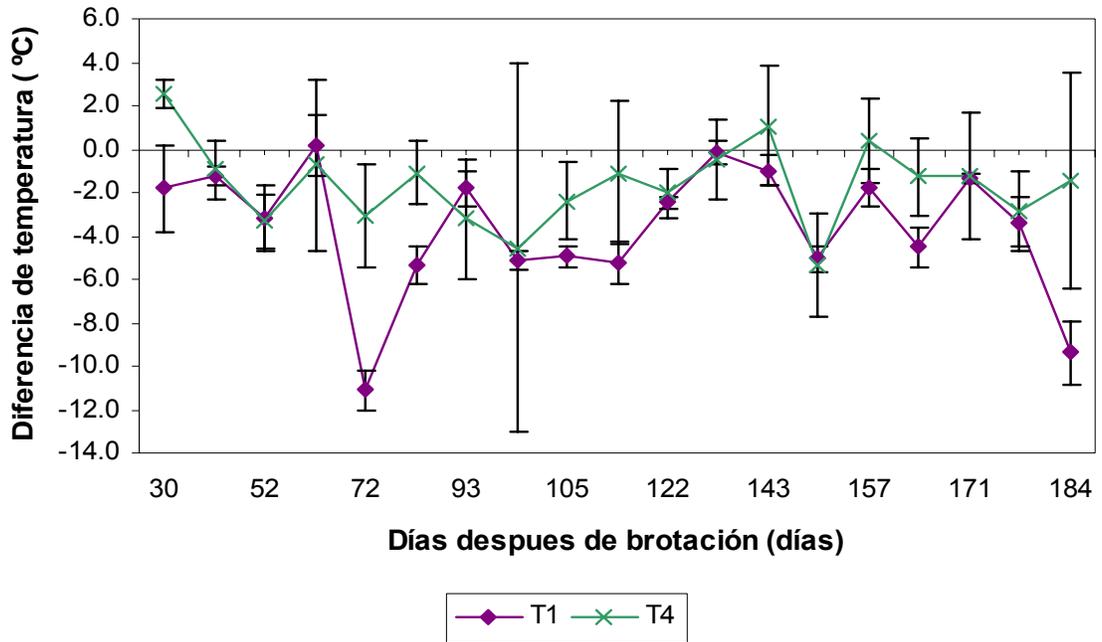


Figura 16. Evolución de la diferencia de temperatura hoja-aire ($T_c - T_a$, °C) medido a medio día para T1 y T4 durante la temporada 2003-2004.

En el cuadro 10 se muestra un análisis de varianza para la ΔT° (°C) medido a medio día de todos los tratamientos de riego diferenciando las siguientes etapas definidas según los niveles críticos de humedad de suelo alcanzados por T4. La primera desde inicio de temporada hasta el 78 DDB (fecha en que el suelo presentó el menor contenido de agua según el tratamiento más estresado, T4). La segunda desde el 79 al 110 DDB (segunda fecha de mayor agotamiento de agua en el suelo en T4). Finalmente la tercera etapa abarcó desde el 111 DDB hasta la cosecha. Durante toda la temporada T1 fue significativamente diferente ($P < 0.005$) a T3 y T4 (Cuadro 12), mostrando las mayores diferencias de temperatura, bajo la misma demanda atmosférica en aquellos tratamientos bien regados, provocada por una mayor transpiración lo que regula la temperatura de la planta, mientras que en los tratamientos sometidos a estrés la ΔT° disminuye por una menor transpiración.

Cuadro 10. Efecto de los tratamientos de riego en la diferencia de temperatura medida a medio día determinando tres etapas según niveles críticos de humedad en T4.

Periodo (DDB)	Tratamiento de riego			
	T1	T2	T3	T4
	---Diferencia Temperatura hoja-aire promedio-- (Tc-Ta; °C)			
3-78	-4.16 b	-3.46 bc	-1.67 ac	-1.41 a
79-110	-5.40 bc	-3.98 ac	-2.65 a	-2.82 a
111-188	-3.74 b	-1.10 b	-1.10 a	-1.44 a

1/ Letras iguales en la misma columna señalan que no hay diferencias significativas entre tratamientos de riego de acuerdo a la prueba de comparación múltiple de Tuckey.

Grado de Estrés Acumulado

La figura 17 muestra el Grado de Estrés Acumulado (GEA) durante toda la temporada. Al igual que los datos presentados por Jackson (1977) se determinó que T1 alcanzó los valores más negativos (-68.8 °C), seguido por T2 (-43.92 °C). En el caso de los tratamientos sometidos a estrés hídrico el GEA fue más altos (-24.9 °C y -31.3 °C para T3 y T4 respectivamente) probablemente por la menor tasa transpiratoria que alcanza una planta sometida a estrés hídrico, ya sea por un cierre estomático que evite la pérdida excesiva de agua o por una menor absorción de agua por las raíces debido a un menor contenido de agua en el suelo. Esto provoca que la temperatura de la hoja sea similar a la temperatura ambiente acumulando una menor diferencia entre éstas variables a lo largo de la temporada. La relación entre éstas dos variables no fue significativa durante la temporada (R^2 : 0.21; p: n/s; datos no mostrados). Jackson *et al.* (1977) determinó que en aquellos tratamientos de riego que fueron sometidos a estrés hídrico más severo el GEA fue más alto que en aquellos que no sufrieron estrés hídrico en trigo diferenciándose hasta un 45% de los valores alcanzados por las plantas control.

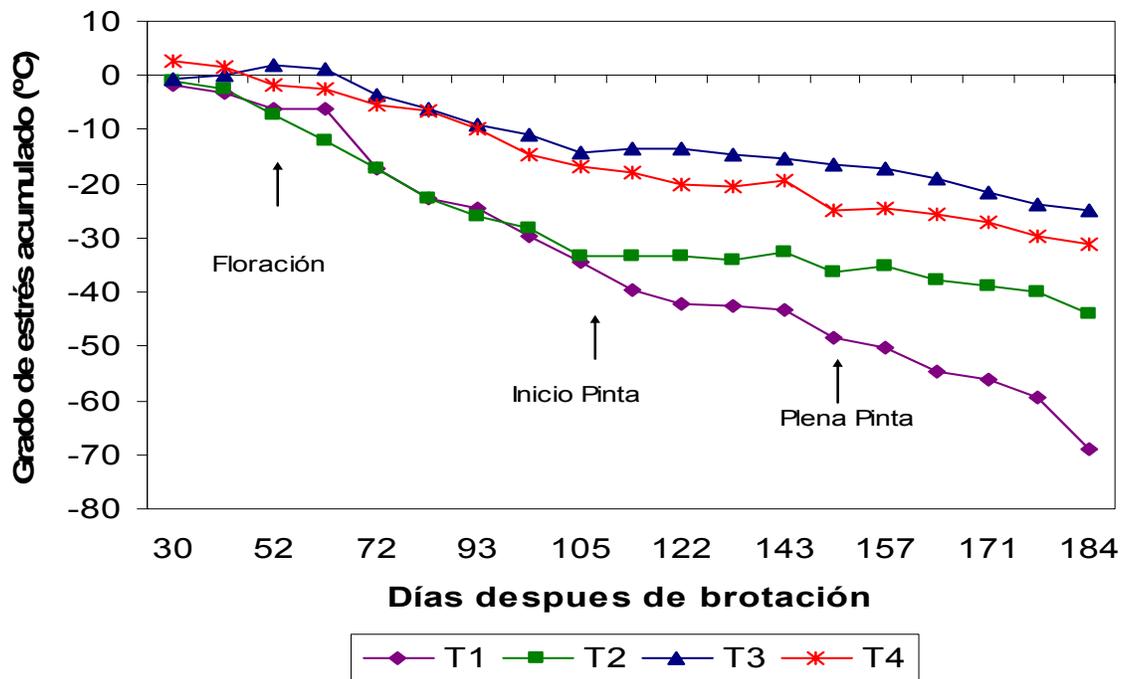


Figura 17. Grado de estrés acumulado (GEA) durante la temporada 2003-2004 para todos los tratamientos de riego.

Sensibilidad de los indicadores al déficit hídrico.

La oportunidad de detectar un déficit hídrico depende de la frecuencia del monitoreo y la sensibilidad del indicador. Esta última determina el grado de variación que tiene el indicador respecto de la magnitud del estrés aplicado. Algunos autores (Goldhamer y Fereres, 2001; Moriana y Fereres, 2002), definieron la sensibilidad de los evaluadores en términos de la variación relativa del indicador de las plantas sujetas a déficit hídrico, respecto de plantas control, bien regadas. Mientras mayor sea la diferencia respecto de la unidad, más sensible es el indicador. La figura 18 muestra un análisis de sensibilidad de los tratamientos más regados en comparación con T3 que fue sometido a estrés hídrico. Se

describe la tendencia de T2/T3 entre cuaja y pinta (entre 24 y 110 DDB). La variable más sensible a un déficit hídrico fue el CMD, mientras que la sensibilidad fue mayor en ΔT° comparada con el Px. Si bien la ΔT° resulta fuertemente sensible es importante destacar la gran variabilidad de este tipo de mediciones lo que dificulta una interpretación correcta de sus resultados. El potencial xilemático no detectó en forma precoz un déficit hídrico en T3, y sus valores fluctuaron permanentemente cercanos a la unidad. Goldhamer *et al.* (1999) y Gallardo y Thompson (2003), determinaron que las variaciones en el diámetro de tronco son más sensibles que mediciones basadas en el potencial hídrico de la hoja en detectar el inicio del déficit hídrico. Este análisis de sensibilidad para CMD, Px y ΔT° es más representativo entre cuaja y pinta, ya que ésta es la fase de activo crecimiento de los troncos. Tanto antes como después del periodo evaluado los troncos presentan un menor crecimiento y una menor sensibilidad en los indicadores por lo que sus resultados no fueron de fácil interpretación.

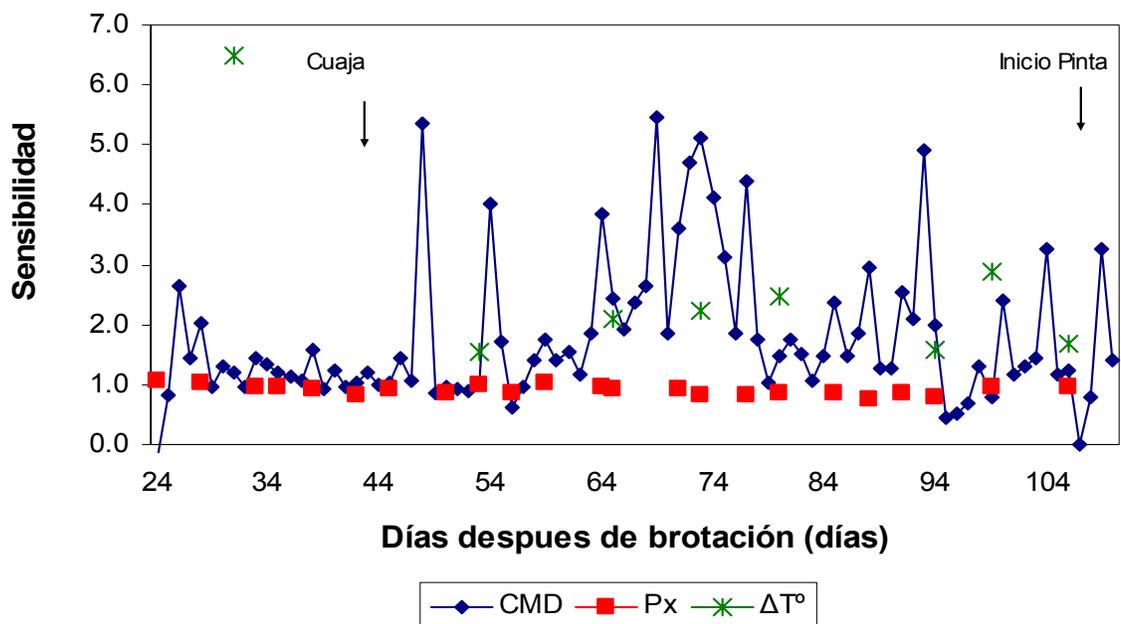


Figura 18. Análisis de sensibilidad de respuesta del Crecimiento máximo diario (CMD), del potencial hídrico xilemático (Px) y de la diferencia de temperatura hoja-aire (ΔT°) en los tratamientos T1/T3 entre cuaja e inicio de pinta durante la temporada.

CONCLUSIONES

La magnitud del CMD se ve afectada por el estado fenológico en que se encuentran las bayas, siendo máximo entre inicio de racimo visible y pinta. Para una interpretación correcta se debe tomar en cuenta la interrelación que existe entre la fonología de la planta y el crecimiento de tronco.

La tasa de crecimiento diario del tronco es un indicador precoz y sensible del estado hídrico en Crimson Seedless pudiendo ser útil en programación de riego durante la fase de activo crecimiento de los troncos (entre inicio de racimo visible y pinta).

Parámetros derivados de mediciones continuas del diámetro del tronco (Crecimiento máximo diario) muestran ser más sensibles que variables discontinuas como el potencial hídrico xilemático en detectar precozmente una situación de estrés hídrico.

La ACM muestra ser un indicador no apropiado para ser utilizado con fines de riego en Crimson Seedless. Un mismo valor de ACM pareciera estar asociado a una situación de estrés moderado o a una condición de exceso de humedad.

La temperatura de la cubierta vegetal refleja un estrés hídrico en la planta, a pesar de ello el inconveniente se presenta al tratar de definir un valor umbral que pueda ser utilizado en este tipo de mediciones para programación de riego y la alta variabilidad en éste tipo de mediciones pudiendo afectar la interpretación de estos datos.

El potencial hídrico xilemático puede ser utilizado como indicador de estrés hídrico en la planta para fines de riego, sin embargo, presenta una menor sensibilidad que el CMD.

LITERATURA CITADA

ACEVEDO, H. E. 1979. Interacción suelo-agua-raíz en el proceso de absorción de agua por las plantas. Bol. Téc. Facultad de Agronomía Universidad de Chile. 44: 17-25.

AZCON-BIETO, J. y TALON. 2000. Fundamentos de Fisiología Vegetal. Eudeba y McGraw-Hill. España, Barcelona. 521 p.

BRADFORD, K. J. and HSIAO, T. C. 1982. Physiological response to moderate water stress. *In*. Encyclopedia of Plant Physiology. News Series. Vol. 12 B. Physiological Plants Physiology. II. Water relations and carbon assimilation. Ed. O. L. Lange, P. S. Nobel, C. OSMOND and ZIEGLER Springer-Verlag, Berlín. Pp 181-230.

BRAVO, K. R. 2001. Evaluación de tres frecuencias de riego por goteo en uva de mesa (*Vitis vinifera*) cv. Thompson Seedless para el Valle de Aconcagua. Tesis Ing. Agr. Santiago. Universidad de Chile. Facultad de Ciencias Agrarias, 25 p.

CAMERON, I. 2001. Crimson seedless promise WA table grape boon. Journal of Agriculture, 42: 24-28.

COHEN, M. 1994. Funcionamiento hídrico y producción frutal del nogal en zonas semiáridas: Aplicación al manejo del riego. Memoria para optar al grado de Dr. Ing. Agr.. Universidad de Lleida-Escuela Técnica Superior d'Enginyeria Agraria. 298 p.

COHEN, M., GOLDHAMER, D. A., FERERES, E., GIRONA, J. and MATA, M. 2001. Assessment of peach tree response to irrigation water deficits by continuous monitoring of trunk diameter changes. *J. Hort. Sci. and Biotech.* 76: 55-60.

EHRLER, L. W. 1973. Cotton leaf temperatures as related to Soil Water Depletion and Meteorological Factors. *Agr. Journal.* 65:404-409.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS (FAO). IRRIGATION AND DRAINAGE PAPER 56. 1998. Crop evapotranspiration. Guidelines for computing crop water requirements. 300 P.

FERERES, E., GOLDHAMER, D., COHEN, M., GIRONA, J., y MATA, M. 1999. Continuous trunk diameter recording can reveal water stress in peach trees. *California Agriculture*, 53(4): 21-25.

FERERES, E. and GOLDHAMER, D. 2003. Suitability of stem diameter variation and water potential indicator for irrigation scheduling of almond trees. *Journal of Hort. Science and Biotechnology* 78: 139-144.

FERREYRA, E. R, SELLÉS, V SH. G. y SELLES, I. 1997. Manejo del riego en condiciones de restricción hídrica. Santiago, Chile. INIA. CRI La Platina. Serie La Platina N° 67. 38 p.

FERREYRA, R. y SELLES, G. 2001. Riego deficitario controlado en uva de mesa. *Boletín INIA* N° 60. 41 p.

GALLARDO, M. y THOMPSON, R. 2003. Uso de los sensores de plantas para la programación del riego. Pp. 353-373. *In* Curso Superior de Especialización. Mejora en la

eficiencia en el uso del agua en cultivos protegidos. Armenia, España. Dirección General de Investigación y Formación Agraria de la Junta Andalucía. 586 p.

GARNIER, E. and BERGER, A. 1986. Effect of water stress on stem diameter changes of peach trees growing in the field. *Journal of Applied Ecology*, 23: 193-209.

GARNIER, E. and BERGER, A. 1987. The influence of drought on stomatal conductance and water potential on peach trees growing in the field. *SC. Hort.* 32: 249-263.

GENARD, M., FISHMAN, S., VECAMBRE, G., HUGUET, J. G., BUSSI, C., BESSET, J. and HABIB, R. 2001. A biological analysis of stem and root diameter variation in woody plants. *Plant Physiol.* 126: 188-202.

GIL, G. 2000. La producción de fruta. Primera Edición. Ediciones Universidad Católica de Chile, Santiago, Chile. 583 p.

GOLDHAMER, D.A., FERERES, E., MATA, M., GIRONA, J. and COHEN, M. 1999. Sensitivity of continuous and discrete plant and soil water status monitoring in peach trees subjected to deficit irrigation. *Journal of the American Society of Horticultural Science*, 124(4):437-444.

GOLDHAMER, D.A. and FERERES, E. 2001. Irrigation scheduling protocols using continuously recorder trunk diameter measurements. *Irrigation Science*, 20: 115-125.

GUROVICH, L. 1985. Fundamentos y Diseño de sistemas de riego. Instituto Interamericano de Cooperación para la agricultura, IICA. San José, Costa Rica. 431 p.

GUROVICH, L 1989. Una nueva técnica para determinar las necesidades de riego de huertos y parronales. *Aconex* 26:21-26.

HUGUET, J.G, S.H. LI, J.Y. LORENDEU, and G. PELLOUS. 1992. Specific micromorphometric reactions of fruit trees to water stress and irrigation scheduling automation. *Journal Horticultural Science*. 67(5):631-640.

IDSO, S.B., JACSON, R.D., PINTER, JR., REGINATO, R.J and HATFIELD, J.L. 1981. Normalizing the stress-degree-day parameter for environmental variability. *Agricultural Meteorology* 24: 45-55.

INTRIGLIOLO, D. S. and CASTEL, J. R. 2004. Feasibility of using LVDT and water mark sensor for irrigation scheduling in plums. *Acta Horticulturae* 664.

JACKSON, R.D. REGINATO,R.J. and IDSO, S.B. 1977. Wheat Canopy Temperatura: A Practical Tool for Evaluating Water Requirements. *Water Resources Research*. 13(3): 651-656.

JONES, H. G. 2004. Irrigation scheduling: advantages and pitfalls of plant-based methods. *Journal of Experimental Botany*. 55: 2427-2436.

JONES, H. G. 1990 Plants water relations and implications for irrigation scheduling. *Acta Horticulturae* 278: 258-267.

KOZLOWSKI, T. 1982. Water supply and tree growth. Part I Water Deficit, Forestry Abstract, 43:57-95.

KUTLE, A. 1986. Water retention: Laboratory methods. p. 635-662. *In* Klute, A. (ed.). Methods of soil analysis. Physical and mineralogical methods. Am. Soc. Agron., Madison, Wisconsin, USA.

MARSAL, J., GELLY, M., MATA, M., ARBONES, A., RUFAT, J. and GIRONA, J. 2002. Phenology and drought affects the relationship between daily trunk shrinkage and midday stem water potential of peach trees. *J. of Hort. Sc. And Biotechn.* 77: 411-417.

MEYER, W., and REICKOSKY, D. C. 1985. Enclosing leaves for water potential measurement and its affects on interpreting soil induced water stress. *Agricultural meteorology.* 35:187-192.

MORIANA, A. and FERERES, E. 2002. Plants indicators for scheduling irrigation of young olive trees. *Irrig. Sc.* 21: 83-90.

MUÑOZ, I. Y LOBATO, A. 2000. Principales cultivares. pp 43-56. *In*: VALENZUELA, J. (ed). 2000. Uva de mesa en Chile. Santiago, Chile. Ministerio de Agricultura. Instituto de Investigaciones Agropecuarias. Colección libros INIA N° 5. 338 p.

MYBURG, P.A. 1996. Response of *vitis vinifera* L. cv. Barlinka/Ramsey to soil water depletion levels with particular reference to trunk growth parameters. *S. Afr. J. Enol. Vitic.* 17: 3-14.

PEACOCK, B., WILLIAMS, L y CHRISTENSEN, P. 1998. Water management and Irrigation Scheduling [en línea]. < <http://cetulare.ucdavis.edu/pubgrape/ig998.pdf>>. [consulta: 03 Septiembre 2003].

PIZARRO, F. 1987. Riegos localizados de alta frecuencia (RLAF) goteo, microaspersión, exudación. Ediciones Mundi-Prensa: Madrid, España. 461 p.

SANTA OLALLA, M. 1993. Agronomía del riego. Mundi Prensa. Madrid, España. 732 p.

SANTIBAÑEZ, F. y URIBE, M. 1990. Atlas Agroclimático de Chile. Regiones V y Metropolitana. Universitaria, Santiago. 65 p.

SELLÉS, G. y BERGER, A. 1994. Relación entre crecimiento diario del fruto y de tronco en duraznero y frecuencia de riego. Agricultura técnica (Chile) 54 (3): 252-258.

SELLÉS, G., FERREYRA, R., CONTRERAS, G. AHUMADA, B., VALENZUELA, B. y BRAVO, R. 2003. Manejo del riego por goteo en uva de mesa cv. Thompsom seedless, cultivada en suelos de textura fina. Agricultura Técnica (Chile)63:180-192.

SERVICIO AGRÍCOLA Y GANADERO (SAG). 2005. Estadísticas de exportación. Aconex Enero-Febrero-Marzo 2005. 86: 27-28.

STEUDLE, E. 2000. Water uptake by roots: effects of water deficit. *Soc. For Experimental Biology*. 51:1531-1542.

STOCKLE, C. and DUGAS, W. 1992. Evaluating canopy temperature-based indices for irrigation scheduling. *Irrigation Sciences* 13: 31-37.

TENNANT, D. 1975. A test of a modified line intersect method of estimating root length. *Journal of Ecology* 63: 995-1001.

WARRICK, A. W. 1986. Designs principals. Soil water distribution. Pp. 93-116. *In*: F. S Nakayam y D. A. Bucks (Eds) Trickle irrigation for crop production.

WILLIAMS, L. E, PHENE, C. J., GRIMES, D. W. and TROUT, T. J. 2003. Water use of mature seedless grapevines in California. *Irrig. Sci.*, 22: 11-18.