

UNIVERSIDAD DE CHILE
FACULTAD DE CIENCIAS AGRONÓMICAS
ESCUELA DE AGRONOMÍA

**“RESPUESTAS FISIOLÓGICAS EN UVA DE MESA CULTIVAR CRIMSON
SEEDLESS SOMETIDAS A DÉFICIT HÍDRICO”**

Memoria para optar al Título
Profesional de Ingeniero Agrónomo
Mención: Manejo de Suelos y Agua

VIRGINIA ANDREA LÓPEZ RÍOS

	Calificaciones
PROFESOR GUÍA Sr. Herman Silva R. Profesor Biología. Ph. D.	6,7
PROFESORES CONSEJEROS Sr. Julio Haberland A. Ingeniero Agrónomo. Ph. D.	6,7
Sr. Víctor García de Cortázar G. Ingeniero Agrónomo. Dr. Ing.	7,0
COLABORADOR Sr. Gabriel Sellés V. Sch. Ingeniero Agrónomo. Dr.	

2005
Santiago, Chile

A mi hijo Nayán Jesús

AGRADECIMIENTOS

A toda mi familia, especialmente a Antonio y Mónica, mis padres, y a mi tía Narda Ríos por su apoyo incondicional y desinteresado.

A Gabriel Sellés y Herman Silva por aportar sus conocimientos y tiempo en el desarrollo de este trabajo.

A Julio Haberland y Víctor García de Cortázar por sus recomendaciones y acertados consejos.

A Rodrigo Ahumada, Cristina Aspillaga y Raúl Eguiluz por su importante colaboración.

Al proyecto FONDECYT 1020837 por el financiamiento de esta memoria.

A Denny Cuevas Bernal por su desinteresado aporte.

A mis compañeras por su compañía y apoyo durante estos años y especialmente a las que me han acompañado en esta última etapa Verónica, Natalia, Paula S. Y Paula R.

A mi amiga que me acompaña desde la infancia Danae Miranda.

A Yayo por su compañía y comprensión durante el desarrollo de esta memoria.

Finalmente quiero agradecer a la persona que más se ha sacrificado en estos años de estudio mi hijo Nayán Jesús.

TABLA DE CONTENIDOS

RESUMEN	2
SUMMARY	3
INTRODUCCIÓN	4
REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA	6
El agua en la planta	6
Programación de riego	7
Potencial hídrico xilemático y foliar	9
Ajuste osmótico	10
Conductancia estomática	11
Flujo de savia	12
Temperatura de la canopia	13
MATERIALES Y MÉTODOS	14
Tratamientos	15
Mediciones	17
Contenido de agua del suelo	17
Datos meteorológicos	18
Potencial hídrico total y sus componentes	18
Conductancia estomática	20
Velocidad de flujo de savia	20
Diferencia temperatura foliar-ambiental	21
Diseño experimental y análisis estadístico	21
RESULTADOS Y DISCUSIÓN	23
Contenido de agua del suelo	23
Relaciones hídricas	25
Evolución diaria	25
Potencial hídrico xilemático y foliar	25
Potencial de solutos y de presión	29
Comportamiento temporal	31
Potencial hídrico xilemático y foliar	31
Ajuste osmótico	34
Intercambio gaseoso	36
Evolución diaria	36
Conductancia estomática	36

Flujo de savia	39
Comportamiento temporal	44
Conductancia estomática	44
Flujo de savia	47
Grado de estrés acumulado	51
CONCLUSIONES	53
LITERATURA CITADA	54
APÉNDICE I	

UNIVERSIDAD DE CHILE

FACULTAD DE CIENCIAS AGRONÓMICAS

ESCUELA DE AGRONOMÍA

Memoria de Título

**RESPUESTAS FISIOLÓGICAS EN UVA DE MESA CULTIVAR CRIMSON
SEEDLESS SOMETIDAS A DÉFICITS HÍDRICO**

VIRGINIA ANDREA LÓPEZ RÍOS

Santiago, Chile. 2005

RESUMEN

La influencia del contenido de agua del suelo sobre diferentes respuestas fisiológicas en el cultivar de vides Crimson Seedless fue estudiada para determinar el comportamiento del cultivar bajo déficit hídrico. Con este propósito se analizó el potencial hídrico xilemático y foliar, la conductancia estomática, la velocidad del flujo de savia y la temperatura de la canopia, tanto a escala diaria como estacional. También se estudió la existencia de ajuste osmótico, como vía de atenuar los posibles efectos de períodos de sequía sobre los procesos bioquímicos de la vid. 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-estrés (entre 0 y 100% de la evapotranspiración).

Los potenciales hídrico xilemático y foliar se relacionaron con el déficit de presión de vapor del aire (DPV), y con el contenido de agua del suelo presentando ambas diferencias significativas entre tratamientos. La conductancia estomática presentó valores máximos durante la mañana. No se observaron diferencias significativas entre tratamientos regados y estresados a escala estacional. La velocidad de flujo de savia (Fs) se relacionó con el DPV, con el potencial hídrico xilemático y foliar, y con la temperatura de la canopia a escala diaria. A escala estacional, el Fs solo se relacionó con el DPV y con el contenido de agua del suelo, presentando una alta sensibilidad al déficit hídrico, por lo tanto el Fs podría resultar una herramienta efectiva para la programación de riego. Al contrario la conductancia estomática no demostró ser sensible ante un déficit hídrico por lo que no es recomendable para el control del riego en uva de mesa cv. Crimson seedless.

Palabras claves: Potencial hídrico, ajuste osmótico, conductancia estomática, velocidad de flujo de savia

SUMMARY

PHYSIOLOGICAL RESPONSE OF THE CRIMSON SEEDLESS TABLE
GRAPEVINE CULTIVAR UNDER WATER DEFICIT

The influence of soil water content on different physiological responses of the Crimson Seedless table grapevine was studied to determine this cultivar's behaviour under water deficit. For this purpose, stem and leaf water potential, stomatal conductance, sap flow velocity and canopy temperature were studied under water deficit conditions both on the daily and seasonal scale. The occurrence of osmotic adjustment as a mechanism to reduce the possible effects of drought periods on the biochemical processes of the grapevine was studied as well. 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 the irrigation-stress cycles were alternated (between 0–100 of evapotranspiration).

Stem and leaf water potentials were correlated with vapor pressure deficit of the air (VPD) and to soil water content, both showing significant differences among treatments. Stomatal conductance showed maximum values in the morning. No significant differences between the watered and stressed treatments were found on the seasonal scale. Sap flow (Sf) velocity was related to VPD stem and water potential, and to canopy temperature on a daily scale. On a seasonal scale Sf was only related to VPD and soil water content, showing a high sensitivity to water deficit. Therefore Sf could be an effective tool for irrigation programming. On the contrary, stomatal conductance did not show sensitivity to water deficit, for which it is not recommended for controlling irrigation in the Crimson Seedless table grape cultivar.

Key words: water potential, osmotic adjustment, stomatal conductance, sap flow velocity

INTRODUCCIÓN

En la actualidad el manejo y control del riego se realiza a través de técnicas que permiten determinar directa o indirectamente el contenido de agua del suelo y estimaciones del microclima mediante fórmulas empíricas del tipo Penman modificado (Cohen, 1994) y de acuerdo a esto establecer cuanto y cuando regar. Sin embargo diversos autores han propuesto técnicas alternativas, las cuales consisten en evaluar el estado hídrico de la planta, lo cual es posible a través del uso de distintos parámetros fisiológicos como el potencial hídrico, conductancia estomática y velocidad del flujo de savia entre otros. Éstos permitirían describir cambios en el estado hídrico de la planta integrando condiciones climáticas y del suelo (Patakas, *et al.* 2005).

El análisis de las respuestas fisiológicas para planificar las estrategias de riego es una de las metodologías más dinámicas que se han introducido, ya que permite establecer las verdaderas necesidades de agua de los cultivos y de esta manera lograr una mayor eficiencia del recurso. Dentro de estos métodos los más utilizados han sido el potencial hídrico, la conductancia estomática y la temperatura de la canopia, los que se realizan mediante medidas manuales lo que implica una inversión de tiempo en las mediciones, dependiendo su sensibilidad entre otros de la especie, variedad y condiciones ambientales. También existen métodos de medición continua como la velocidad del flujo de savia la cual es una medida directa de la tasa de transpiración de la planta y un indicador muy sensible de su estado hídrico (Gallardo y Thompson, 2003).

Estas herramientas fisiológicas permiten establecer si existe un grado de estrés midiendo directamente en las plantas su condición hídrica y conocer el grado de insuficiencia en el aporte de agua del suelo a la planta, manteniendo a la planta en el límite entre un estrés hídrico y un consumo excesivo de agua, logrando de esta

manera hacer un uso racional del agua de riego (Cifre *et al.* 2005). Por ello hace unos 20 años se desarrollo el término “speaking-plant” o planta hablante, que hace referencia al empleo de sensores de planta o fitomotores para generar información automatizada que permita al agricultor o técnico conocer en todo momento el estado hídrico de su cultivo (Gallardo y Thompson, 2003).

Los fitomotores se están utilizando en Chile y el mundo tanto en investigación como en el ámbito comercial, siendo estudiado por muchos investigadores el uso de información cuantitativa medida en plantas individuales como una manera de interpretar variaciones fisiológicas de las plantas, representando a una comunidad completa, tanto en invernaderos como en condiciones de campo abierto. Los sensores de plantas permiten medir variaciones en determinadas respuestas fisiológicas en estado muy incipiente de estrés, antes que se pueda afectar la productividad y calidad de la fruta. concluyendo que el uso de fitomotores en la programación de riego representa una innovación significativa e integral en la evaluación de las respuestas de las plantas a la disponibilidad de agua en el suelo (Gurovich y Gratacos, 2002)

El uso de respuestas fisiológicas en la programación de riego implica conocer en forma precisa el comportamiento de los distintos parámetros ante un déficit hídrico para interpretar correctamente los datos obtenidos y de esta forma tomar la decisión mas adecuada con respecto al manejo del riego.

Objetivo general: Establecer relaciones entre parámetros fisiológicos de la planta y el contenido de agua en el suelo.

Objetivos específicos:

Determinar el efecto de distintos tratamientos de riego sobre el potencial hídrico de la planta y sus componentes, en particular el potencial osmótico.

Evaluar el efecto de la disponibilidad de agua en el suelo sobre el intercambio gaseoso y el flujo de savia.

REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

El agua en la planta

Las plantas son organismos vivos que expresan una respuesta fisiológica a los cambios en el balance dinámico del sistema suelo-planta-atmósfera (Gurovich y Gratacos, 2002). Las relaciones entre el agua y la planta se expresan por la transpiración, que corresponde a la evaporación del agua desde las hojas hacia la atmósfera. La mayoría del agua transpirada proviene del suelo, de donde es extraída por las raíces según las necesidades que están determinadas por la demanda de la atmósfera (Ducrocq, 1990).

El xilema es el tejido encargado de conducir el agua y nutrientes minerales desde las raíces, y repartirlos hacia el resto de los órganos de la planta llegando a las hojas donde se pierde por transpiración a través de los estomas (Barceló et al. 1988). El movimiento de agua en estado líquido está determinado por la diferencia de potencial hídrico, mientras que al encontrarse en estado gaseoso este movimiento es proporcional al gradiente de concentración de vapor de agua (Sanchez-Díaz y Aguirreolea, 2000a).

Cuando la pérdida de agua por transpiración es mayor que la absorción de agua desde el suelo se produce un déficit hídrico (Salisbury y Parke, 1968), lo que se traduce en reducciones en el crecimiento de la vida, tanto en los órganos

vegetativos como en los reproductivos. Déficit hídricos durante la floración determinan escasa viabilidad del polen y del pistilo, y por consiguiente un escaso cuajado. La división y alargamiento celular que ocurren en las bayas inmediatamente después del cuajado también se verán reducidos en condiciones de estrés hídrico (Martínez *et al.* 2000). Los déficit hídricos pueden ser detectados mediante el uso de indicadores fisiológicos sensibles a condiciones de sequía.

Programación de riego

La programación de riego esta destinada a determinar a través de un conjunto de procedimientos y técnicas el momento y la cantidad de agua a aplicar a las plantas cultivadas para un desarrollo, crecimiento y producción óptima, estableciendo los volúmenes y fechas apropiados de los riegos a lo largo del ciclo fenológico del cultivo (Gratacos y Gurovich, 2003). Además de una adecuada programación otro factor importante es el sistema de riego a ocupar existiendo en la actualidad muchas opciones, dependiendo estas del cultivo, suelo y clima, entre otros factores. En Chile la superficie de uva de mesa bajo riego localizado es de 24.000 há, siendo el más utilizado el riego por goteo (Román, 2000). Este sistema de riego es preferido por su alta uniformidad, la posibilidad de aplicar fertilizantes en el riego y por los menores requerimientos de mano de obra (Sellés *et al.* 2003).

En el riego por goteo, los requerimientos de agua se basan en la evapotranspiración de cultivo, pero la programación debe ser complementada con mediciones del estado hídrico del suelo, lo que se puede realizar con el uso de tensiómetros que permiten medir el potencial mátrico o bien con el uso de instrumentos como los FDR (Frequency domain refractometry) (Uribe y

Maldonado, 2000). Sin embargo, en el riego por goteo la medición del contenido de agua del suelo se ve dificultada ya que al interior del bulbo húmedo generado por los goteros los contenidos de agua varían espacialmente, por lo que las mediciones puntuales del estado hídrico del suelo ubicadas en el bulbo de mojado, no son representativas del suelo explorado por el sistema radicular de las plantas, lo que puede provocar que la producción se vea afectada por déficit o excesos de agua (Sellés *et al.* 2001).

Por esto, más apropiado que medir el estado hídrico del suelo sería evaluar el estado hídrico de la planta, a través de mediciones de parámetros fisiológicos que integren las condiciones de contenido de agua del suelo y la demanda de la atmósfera y, que permitan conocer el estado hídrico de la planta. El estado hídrico de la planta se puede medir a través de técnicas manuales u otras que permiten una medición continua de parámetros como diámetro del tronco, crecimiento del fruto y velocidad del flujo de savia.

El monitoreo de plantas en intervalos discretos de tiempo, ha sido una herramienta valiosa, siendo utilizada para evaluar el efecto de diferentes estrategias de manejo agronómico, especialmente del riego, sobre la actividad fisiológica de las plantas, y así poder evaluar esquemas de ahorro de agua y de energía, como también para optimizar el rendimiento y la calidad de la fruta (Gurovich y Gratacos, 2002). El objetivo del fitomonitorio es la planta intacta y su propósito es obtener un retrato funcional de ésta, que puede ser considerado como una imagen de su comportamiento fisiológico frente a modificaciones naturales o artificiales del medio ambiente. Su interpretación está basada en el uso de las tendencias de las respuestas, más que en los valores absolutos de cada parámetro de la planta (Gratacos y Gurovich, 2003)

Potencial hídrico xilemático y foliar

La evaporación del agua desde las hojas genera la fuerza motriz que hace circular el agua dentro de la planta. El potencial hídrico xilemático expresa el nivel energético del agua en la planta; y se mide generalmente, en las hojas. Estas deben ser aisladas y cubiertas para detener la pérdida de agua, haciendo que su potencial hídrico se iguale al de la ramilla donde está inserta (Sellés et al. 2002). El potencial hídrico foliar se mide directamente en las hojas sin evitar la transpiración.

Tanto el potencial hídrico xilemático como el foliar sufren variaciones a lo largo del día presentando valores mas elevados al amanecer y al anochecer y menores al medio día cuando es máximo el desequilibrio entre transpiración y absorción, siendo esta diferencia más amplia al haber un grado de sequía en el suelo (Sanchez-Díaz y Aguirreolea, 2000b) las variaciones también se dan a escala estacional, presentando valores menores en las estaciones estivales (Martínez et al. 2000).

El potencial hídrico de la hoja integra las condiciones de contenido de agua del suelo y la demanda de la atmósfera, mostrando claramente el estado hídrico de la planta. En la medida que la planta tiene menor suministro de agua, y que la demanda de agua de la atmósfera aumenta, el potencial hídrico de la planta es menor (Sellés et al. 2002).

Ajuste osmótico

A medida que el contenido de agua en el suelo desciende, se hace más difícil absorber agua y las plantas se exponen al peligro de desecación (Sanchez-Díaz y Aguirreolea, 2000b), sin embargo la planta es capaz de recurrir a un mecanismo que le permite continuar con sus actividades fisiológicas, dicho mecanismo se llama ajuste osmótico u osmoregulación y es una respuesta fisiológica de las plantas que consiste en la acumulación activa de solutos en sus células lo que le permite absorber agua con potenciales hídricos del suelo menores (Ortiz et al. 2003).

El ajuste osmótico permite a la célula mantener su contenido de agua, ya que al producir sustancias de bajo peso molecular hace bajar el potencial osmótico dificultando la pérdida de agua (Barceló et al. 1988). Además retrasa el enrollamiento foliar y mantiene el crecimiento de la raíz y se ha demostrado que en condiciones limitantes de agua el rendimiento es superior en aquellas variedades que ajustan osmóticamente (Sanchez-Díaz y Aguirreolea, 2000c)

La osmoregulación es una compleja respuesta que otorga protección a las estructuras celulares y a los procesos bioquímicos vegetales, frente a condiciones ambientales que causan deshidratación (Gurovich, 2002), permitiendo mantener un potencial de presión positivo cuando el potencial hídrico disminuye (Rodrigues et al. 1993).

Conductancia estomática

La conductancia estomática es la velocidad (cm s^{-1}) a la cual se produce el flujo de agua transpirada desde las hojas hacia la atmósfera a través de los estomas. En la medida que los estomas se mantengan abiertos la velocidad será mayor, al contrario al presentarse un estrés hídrico los estomas tienden a cerrarse provocando una disminución drástica de la conductancia estomática (Riveros, 2002)

Los estomas son formaciones de tejido epidérmico que se encuentran fundamentalmente en la epidermis de la hoja, éstos controlan el intercambio de gases (vapor de agua, CO_2 , O_2) entre los espacios aéreos del mesófilo y la atmósfera que rodea la hoja (Martín de Santa Olalla y De Juan Valero, 1993), desempeñando un papel primordial en el mantenimiento de la homeostasis de la planta, de ahí la importancia de conocer los factores que regulan los procesos de abertura y cierre estomático (Sanchez-Díaz y Aguirreolea, 2000c).

Cuando todos los estomas están abiertos ocurre el máximo intercambio gaseoso entre el aire y la hoja. Esta última liberando oxígeno y vapor de agua y, absorbiendo CO_2 desde el aire. En un sistema de producción agrícola se debe mantener en forma constante y máxima la transpiración. Si en el suelo se presenta un déficit de agua se produce un cierre parcial de los estomas disminuyendo la transpiración y por ende la asimilación de CO_2 lo que se traduce en una menor producción (Gurovich, 1989).

Flujo de savia

El proceso transpiratorio provoca un flujo de agua líquida desde el suelo hasta los sitios de evaporación en las hojas. El flujo de agua líquida o flujo de savia varía durante el día de manera proporcional a la radiación solar, debido al movimiento de agua que ocurre desde las raíces hasta los estomas donde se pierde como vapor. El flujo de savia disminuye al disminuir la disponibilidad de agua en el suelo, ya que la planta en respuesta a un posible estrés hídrico cierra parcial o totalmente sus estomas, reduciendo así la evaporación de agua desde las hojas y por consecuencia también habrá una disminución en el flujo de savia (Sellés *et al.* 2000).

En la actualidad existen métodos que permiten mediciones continuas del flujo de savia directamente de la planta bajo condiciones de campo, así las reacciones de la planta frente a diferentes condiciones ambientales pueden ser registradas en todo momento. Uno de estos métodos es el propuesto por Granier *et al.* (1995), el cual fue desarrollado para grandes árboles en estudios de ecosistemas forestales y que fue adaptado satisfactoriamente para troncos más pequeños como los de vides (Schmid y Braun, 1997). La importancia de los sensores de flujo de savia es que permiten conocer la transpiración de la planta en forma directa, precisa y no destructiva (Ferrada, 2000)

Los sensores de flujo de savia aún están en etapa experimental, por lo tanto es difícil encontrar valores de referencia para la vid que nos permitan detectar cuando su valor es reducido por causa de un déficit hídrico y así poder corregir el manejo del riego (Sellés *et al.* 2000).

Temperatura de la canopia

La temperatura de la canopia es un indicador indirecto del estado hídrico de la planta, ya que al encontrarse la planta sometida a condiciones de estrés hídrico disminuye su transpiración debido al cierre parcial de sus estomas, lo cual se traduce en un aumento de la temperatura foliar (Gallardo y Thompson, 2003). Una planta que no está correctamente abastecida de agua, necesita cerrar sus estomas para evitar pérdidas excesivas, por lo cual transpira menos que una planta regada, lo que se traduce en una mayor temperatura del follaje.

Muchos científicos desde 1948 han estudiado la diferencia de temperatura en el follaje y su relación con el estado hídrico de la planta, para lo cual se han diseñado diversos instrumentos y técnicas de medición de la temperatura de follaje en condiciones de campo (Gurovich, 1989)

Jackson, et al. (1977) propusieron la diferencia entre la temperatura de la canopia y del aire ($T^{\circ}c - T^{\circ}a$) medido al momento de máxima temperatura como indicador del estado hídrico de la planta, este valor se conoce como “stress degree day” (SDD) y la suma de estas diferencias como grado de estrés acumulado (GEA).

MATERIALES Y MÉTODOS

El ensayo se llevó a cabo en una plantación comercial de uva de mesa cultivar Crimson Seedless, de ocho años de edad, conducida en sistema de parronal español, establecida a una distancia de 3,5 por 3,5 m. Se regó por goteros, con doble línea y una distancia entre goteros de un metro (7 goteros por planta) y su caudal fue de $3,8 \text{ L h}^{-1}$. La plantación está ubicada en la localidad de Curimón a $30^{\circ} 44' 19''$ latitud sur y $79^{\circ} 39' 17''$ longitud oeste, Provincia de San Felipe, V Región.

El suelo corresponde a la Serie Pocuro, que se caracteriza por ser un suelo profundo, en posición de terraza aluvial, clase textural franco arcillo limosa y arcillo limosa en profundidad. Descansa sobre un sustratum con matriz franco arcillo arenosa. La densidad aparente del suelo, obtenida por el método del cilindro fue de $1,41 \pm 0,07$, $1,46 \pm 0,03$ y $1,41 \pm 0,06 \text{ Mg m}^{-3}$ entre 0-20; 20-40 y 40-100 cm de profundidad respectivamente.¹

El clima corresponde a una estepa mesotermal superior heterotérmico mediterráneo semiárido y se caracteriza por poseer una evapotranspiración media anual de 1326 mm, siendo Enero el mes de mayor demanda con 190 mm. Las temperaturas oscilan entre $2,6^{\circ}\text{C}$ en Julio y $31,7^{\circ}\text{C}$ en Enero. Presenta un período libre de heladas de 201 días, con un promedio de 26 heladas anuales. La precipitación media anual es de 265 mm, presentándose mayoritariamente en

¹ Informe Proyecto Fondecyt 1020837/2002

invierno, con un período seco de 8 meses. (Santibáñez y Uribe, 1990), alcanzando la precipitación de la temporada 119 mm.

Tratamientos

En el estudio se realizaron 4 tratamientos de riego, para poder medir la sensibilidad de las respuestas fisiológicas a distintas disponibilidades de agua en el suelo y en las siguientes etapas fenológicas: de brotación a floración, floración a pinta y pinta a cosecha. (APENDICE I)

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: Ciclos de riego y desecamiento del suelo, durante toda la temporada, con el fin de medir la respuesta de la planta a las variaciones de agua disponible.

La estimación de la evapotranspiración de cultivo (Etc) se obtuvo mediante la ecuación de Penman-Montheith (Allen et al. 1998) la cual calcula la evapotranspiración potencial a partir de la temperatura ambiental, radiación solar, velocidad del viento y humedad relativa y luego fue corregida por un coeficiente de cultivo (Kc) de referencia, utilizado para uva de mesa obtenido de acuerdo a la metodología de Williams et al. (2003).

El equipo de riego localizado del parronal fue modificado para obtener autonomía con respecto al resto del huerto en las aplicaciones de agua de riego y así fue posible llevar un control adecuado del agua aplicada en cada uno de los tratamientos. Cada tratamiento fue regado en forma independiente y se contó con un medidor volumétrico de agua para controlar los volúmenes aplicados, causando la diferencia de agua aplicada a cada tratamiento por diferencias en los tiempos de riego.

El ensayo se comenzó a regar cuando cada tratamiento agotó parte de las reservas de agua del suelo. Provocando un mayor agotamiento en los tratamientos en los cuales el estrés fue más severo, siendo el tratamiento 1 regado por primera vez 32 días después del brote (ddb), los tratamientos 2 y 3 se comenzaron a regar 47 ddb y el tratamiento 4, 79 ddb. Al momento del primer riego el contenido de agua del suelo fue de 72, 54 y 51% de la humedad aprovechable para T1, T2 y T3 respectivamente. El tratamiento 4 al momento del primer riego presentaba valores inferiores al punto de marchitez permanente (PMP)

Mediciones

Las mediciones se llevaron a cabo durante la temporada de crecimiento 2003-2004. En todos los tratamientos se controló el estado hídrico del suelo y de la planta, evaluando a escala diaria y durante el período experimental (octubre-marzo) distintos parámetros fisiológicos para así poder analizar su sensibilidad y precocidad respecto del nivel de estrés hídrico a la cual estuvo sometida la planta.

Contenido de agua en el suelo: éste se midió mediante una sonda capacitiva (Delta-T probe model PR1, Inglaterra), que permite medir el contenido de agua del perfil del suelo a 10, 20, 40, 60 y 100 cm. de profundidad. Se instalaron tubos de acceso perpendiculares a la línea de plantación, sobre ésta y a 30, 60, 90 y 120 cm de distancia, con el objeto de medir la variabilidad del contenido de agua dentro del bulbo de mojamiento.

El contenido de agua de suelo (CAS) se expresó en altura (mm) hasta 60 cm de profundidad, ya que mediciones realizadas a mayor profundidad presentaron escasa variación, lo que indica una baja extracción de agua de parte de las raíces a este nivel. Por otra parte un análisis de la distribución de raíces realizado en el ensayo muestra una mayor concentración de raíces finas en los primeros 40 cm de profundidad²

² Informe Proyecto Fondecyt 1020837/2004

El valor de capacidad de campo (CC) promedio de los primeros 60 cm medido “in situ” fue de 344 mm y el punto de marchitez permanente (PMP) 191 mm, el cual se estimó de acuerdo a la siguiente formula³:

$$\text{PMP} = \frac{\text{CC}}{1,8} \quad (1)$$

Datos meteorológicos: la temperatura ambiental, radiación solar, velocidad del viento y humedad relativa se midió con una estación meteorológica automática, ubicada dentro del predio (Weathernews, Com 200, U.S.A)

Potencial hídrico total y sus componentes: el potencial hídrico se midió por el método de cámara de presión, de acuerdo a la metodología descrita por Meyer y Reicosky (1985). Las hojas a medir fueron cubiertas con bolsas plásticas y encima de éstas papel de aluminio para que el potencial medido en la hoja represente al potencial hídrico en el xilema (Px). Paralelamente se midió el potencial hídrico de la hoja contigua a la cubierta para así obtener el potencial hídrico foliar (Pf).

Para estimar el valor de potencial de solutos (Ps) se utilizó un osmómetro (Wescor 5520, U.S.A), que permite medir la concentración de solutos (mmol kg⁻¹ de solvente puro) y ésta se transformó a valor de potencial de solutos de acuerdo a:

$$\text{Ps} = C \times R \times T \quad (2)$$

³ Raúl Eguiluz. Ing. Químico. Laboratorio Física de Suelos. INIA La Platina. 2005. (Comunicación personal)

En que C es la concentración de solutos en mol kg^{-1} de solvente puro, R la constante de los gases en $\text{kg MPa mol}^{-1} \text{ } ^\circ\text{K}^{-1}$ y T en grados Kelvin (K°).

A partir del potencial hídrico foliar (P_f) y del potencial de solutos (P_s), se estimó el potencial de presión (P_p) según la siguiente ecuación:

$$P_p = P_f - P_s \quad (3)$$

Las mediciones se realizaron semanalmente en tres hojas por planta, cerca del medio día solar (14^{oo} hrs).

Una vez al mes se realizaron ciclos diarios desde antes del amanecer hasta dos horas después de la puesta del sol (6 a 21 hrs). Estas mediciones se realizaron con una frecuencia de tres horas.

En las mismas hojas utilizadas para obtener el P_f y P_s (al medio día solar) se cortaron trozos sin nervadura y se obtuvo el peso fresco (PF) de ellos, luego se pusieron durante 3 horas en agua destilada (tiempo en el cual la hoja alcanza el peso túrgido) y se obtuvo el peso a saturación o total (PT) y finalmente el peso seco (PS) se obtuvo sometiendo la muestra a 70°C durante 72 hrs, luego de determinó el contenido relativo de agua (CRA) (Barrs y Weatherley, 1962) de acuerdo a:

$$\text{CRA} = \frac{\text{PF} - \text{PS}}{\text{PT} - \text{PS}} \times 100 \quad (4)$$

El valor de Ps de hojas sin hidratar medido al medio día se corrigió con el CRA del tejido de manera de llevar Ps a turgor máximo, obteniéndose el Ps100 (Ps corregido por CRA) de acuerdo a la relación propuesta por Wilson *et al.* (1979). El ajuste osmótico se calculó basándose en la diferencia de Ps100 entre plantas regadas y estresadas, para esto se consideró sólo los tratamientos 1 y 3.

Conductancia estomática: la conductancia estomática (Ce) se estimó a partir de la resistencia estomática (conductancia estomática = $1/\text{resistencia estomática}$), ésta se midió con un porómetro de estado estable (Licor, Li-1600, U.S.A), en unidades de s cm^{-1} , resultando la Ce en cm s^{-1} . Las mediciones se realizaron en tres hojas marcadas de cada planta y se realizaron semanalmente entre las 9 y las 10 de la mañana y una vez al mes se realizaron ciclos diarios en que se midió desde las 9 de la mañana hasta las 21 hrs con un intervalo entre mediciones de 3 horas.

Velocidad de flujo de savia: la velocidad de flujo de savia (Fs) se midió utilizando un medidor de disipación de calor, (Granier *et al.* 1995, Valancogne y Nasr, 1993). Se colocó un medidor de flujo de savia (Dinamax, TDP-50, U.S.A) por tratamiento. La velocidad de flujo de savia fue medida en forma permanente cada 30 minutos, durante los meses de febrero y marzo en los tratamientos 1, 2 y 4, registrándose la información en una central de adquisición de datos (Delta-T). La transpiración estimada (Te) diaria se calculó integrando todos los valores obtenidos a lo largo del día y la transpiración estimada por planta estimando el área conductora del xilema de cada árbol monitoreado, la cual al no ser posible estimarla por técnicas colorimétricas se estimó como el área del tronco sin considerar la corteza.

Los sensores de flujo de savia se componen de dos sondas de temperatura de idéntica geometría, de 1,65 mm de diámetro y 50 mm de longitud. Una de ellas es calentada continuamente a potencia constante a través de un cable de constantan enrollado a la sonda. En el interior de cada una, existe un termopar cobre-constantan que mide la diferencia de temperatura entre ellas. La potencia eléctrica suministrada a la sonda caliente es del orden de 0,32 W. (Cohen, 1994)

En momentos de flujo nulo (noche), la diferencia de temperatura entre las 2 sondas es máxima, $(T^{\circ}2-T^{\circ}1)_{\max}$. y asciende a un valor de equilibrio de 10° a 12°C. Cuando circula la savia, una parte del calor suministrado se pierde por convección y se añade a la conducción térmica de la madera. Así, cuando mayor sea el flujo de savia, menor será la diferencia de temperatura entre las dos sondas.

Diferencia temperatura foliar-ambiental: la temperatura de la canopia ($T^{\circ}c$) y del aire ($T^{\circ}a$) fue medida mediante el uso de un termómetro infrarrojo (Cole Parmer, L-08406-3, U.S.A). Estas mediciones se realizaron sobre la canopia del cultivo, al medio día solar. Con esta información se obtuvo el grado de estrés acumulado (GEA) de acuerdo a lo descrito por Jackson et al. (1977). Las mediciones se realizaron semanalmente en cuatro hojas por planta.

Diseño Experimental y Análisis Estadístico

El ensayo fue establecido con un diseño completamente al azar, con cuatro tratamientos de riego y 3 repeticiones, siendo la unidad experimental la planta.

La información proveniente de las distintas mediciones se analizó mediante análisis de correlación y regresión, además se sometieron a análisis de varianza ANDEVA y cuando se detectaron diferencias significativas fueron sometidas a la prueba de comparación múltiple LSD ($p \leq 0,05$). En el caso de las mediciones de flujo de savia debido a que no se contaba con repeticiones por tratamiento, se analizó solo mediante el uso de estadística descriptiva.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Contenido de agua en el suelo

El volumen de agua aplicada por mes y total a cada tratamiento se muestra en el cuadro 1, también se puede observar la Etc acumulada correspondiente a cada mes.

Cuadro 1. Kc promedio utilizados por mes, Etc acumulada y lámina de agua aplicada a cada tratamiento.

MES	PROMEDIO Kc	Etc	AGUA APLICADA			
			(mm)			
			T1	T2	T3	T4
OCTUBRE	0,45	63,95	45,53	0	0	0
NOVIEMBRE	1,03	156,60	163,93	123,71	36,43	0
DICIEMBRE	1,20	273,28	245,92	184,72	118,39	109,29
ENERO	1,20	251,35	245,89	184,42	100,18	299,02
FEBRERO	1,15	195,40	191,25	143,44	81,96	136,61
MARZO	1,15	186,85	163,93	122,94	81,96	163,93
TOTAL		1127,40	1056,46	759,22	418,92	708,84
% ETC			93,70	67,30	37,20	62,90

El valor de capacidad de campo (CC) promedio hasta los 60 cm fue de 344 mm y el de punto de marchitez permanente (PMP) de 191 mm, lo que da un valor de humedad aprovechable de 153 mm.

El tratamiento 1 presentó el mayor contenido de agua en el suelo durante toda la temporada, manteniendo un contenido de agua muy cercano al valor de capacidad de campo, observándose variaciones entre 280 y 331 mm, lo que representa entre un 58 y 92% de la humedad aprovechable del suelo respectivamente (Figura 1).

Los tratamientos 2, 3 y 4 mantuvieron un contenido de agua similar hasta el 1 de noviembre que corresponde a los 46 días después de brotación (ddb) (2 días antes de floración y un día antes del primer riego de T2 y T3), después se presentó claramente el efecto tratamiento en el contenido de agua medido en el suelo. En los tratamientos 2 y 3 se presentaron valores entre 33 y 58% y, 8 y 62% de la humedad aprovechable del suelo respectivamente. En el tratamiento 4 se observaron las mayores diferencias entre el contenido de agua del suelo máximo y mínimo, fluctuando sus valores entre 171 y 273 mm, donde el valor mínimo fue inferior al PMP y el máximo representa a un 54 % de la humedad aprovechable, esto es esperado debido a los ciclos de riego y desecamiento que recibió este tratamiento.

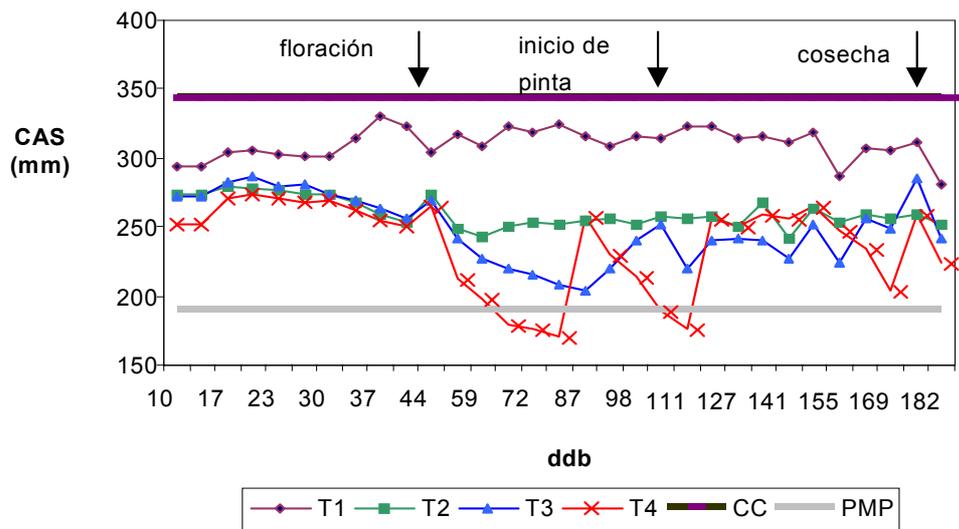


Figura 1. Contenido de agua en el suelo promedio de los primeros 60 cm de profundidad durante la temporada de riego 2003-2004.

El contenido de agua del suelo disminuyó al restringir los niveles de agua aplicados lo que coincide con lo encontrado por Naor (2004), notándose una mayor extracción de agua por parte de las raíces después de floración, donde T2,

T3 y T4 bajan considerablemente su contenido de agua en el suelo, incluso el tratamiento 4, el más afectado, llega a valores inferiores a PMP aproximadamente 20 días después de floración, para aumentar después del primer riego.

Relaciones hídricas

Evolución diaria

Potencial hídrico xilemático y foliar: En la figura 2 se presenta la evolución diaria del potencial hídrico xilemático y del déficit de presión de vapor (DPV) 112 ddb (inicio de pinta), fecha considerada representativa de la temporada, en que T4 se encontraba en un período de déficit hídrico presentando valores inferiores a PMP. El potencial hídrico xilemático (Px) varió durante el día presentando su valor máximo antes del amanecer (potencial base o Pb), que corresponde a valores próximos al potencial hídrico foliar y al potencial hídrico del suelo (Choné *et al.* 2001). Al aumentar el DPV el Px disminuye hasta llegar a su valor mínimo cerca del mediodía solar entre las 14 y 15 hrs, para después ir recuperando valores más altos. Estos resultados coinciden con los encontrados en la literatura para vid (Pire *et al.* 1988; Choné *et al.* 2001; Kaiser *et al.* 2004 y Patakas *et al.* 2005) y en otros frutales como duraznero (Garnier y Berger, 1987) y nogal (Cohen, 1994). Este comportamiento se debe a que cerca del mediodía ocurre la máxima diferencia entre el agua perdida por transpiración desde las hojas y el agua absorbida desde el suelo por las raíces (Kaiser *et al.* 2004), produciéndose un déficit hídrico debido a factores climáticos, independiente del contenido de agua en el suelo que posee cada tratamiento. El potencial hídrico foliar presenta la misma tendencia siendo

sus valores más negativos en todas las mediciones excepto antes del amanecer en que los valores de Px y P_f no presentan diferencias. (datos no mostrados)

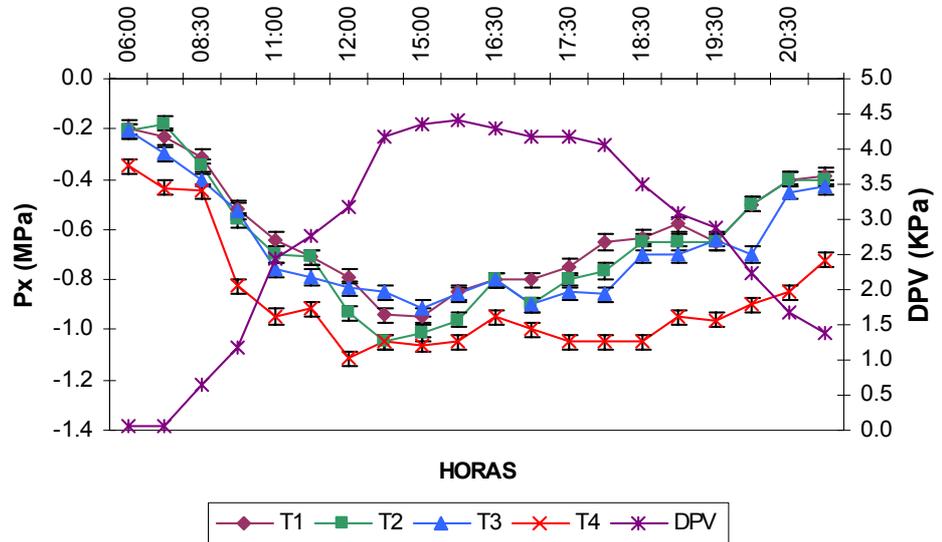


Figura 2. Evolución diaria del Px y DPV registrados 112 ddb.

El potencial base fluctuó entre -0,35 y -0,19 MPa, donde el tratamiento 1 presentó el valor mayor y T4 el menor. El Px mínimo varió entre -1,11 y -0,94 MPa presentando T4 el valor menor, siendo esto lo esperado, ya que una menor disponibilidad de agua en el suelo produce una mayor tensión del agua en la planta, el potencial hídrico disminuye y al hacerse más negativo es una señal de que la planta está más estresada (Selles *et al.* 2002).

El Px en el curso del día se correlacionó en forma negativa con el DPV, a mayores valores de DPV el Px se hace más negativo. El coeficiente de determinación para cada tratamiento fue de T1 $R^2 = 0,93^{***}$, T2 $R^2 = 0,92^{***}$, T3 $R^2 = 0,95^{***}$ y T4 $R^2 = 0,9^{***}$. Al considerar los datos promedio de los cuatro tratamientos el R^2 fue de $0,72^{***}$ (figura 3) lo que muestra una estrecha relación entre Px y DPV.

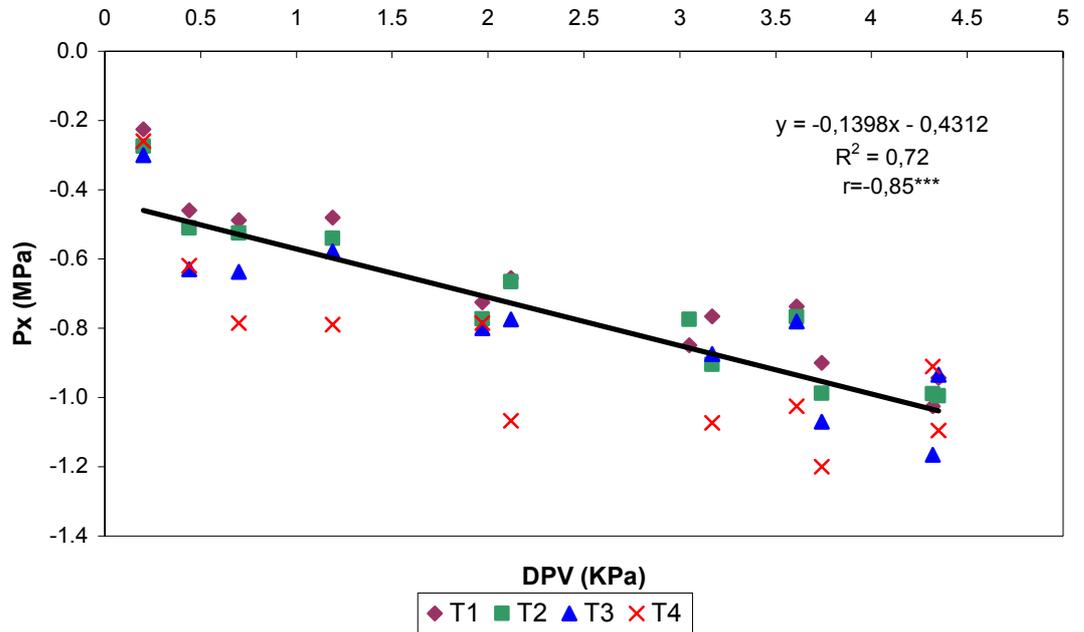


Figura 3. Relación entre Px promedio de cada hora entre las 9 y las 15 hrs y DPV para todos los ciclos diarios considerando todos los tratamientos.

La evolución del Px y el Pf durante el día presentó diferencias significativas entre tratamientos e interacción entre éstos últimos y la hora de medición lo que indica que las plantas responden de manera distinta a los distintos niveles de estrés según la hora del día. Las mayores diferencias entre tratamientos se encontraron entre las 12 y 18 hrs, momento en el cual el déficit hídrico sería producido o aumentado por razones ambientales, como el DPV, HR, radiación, etc. En el cuadro 2 se puede observar los valores de Px para cada tratamiento y cada hora de medición, presentando T4 diferencias significativas con respecto a los otros tratamientos en todas las horas de medición.

El Pf se relacionó directamente con el Px, según los valores obtenidos entre las 9 y 15 hrs. en todos los ciclos diarios, $R^2=0,88^{***}$. Esto deja en manifiesto una fuerte

relación entre estos parámetros, presentándose ante un descenso de Pf un decrecimiento también del Px (figura 4).

Cuadro 2. Valores de potencial hídrico xilemático promedio durante el día (112 ddb)

Tratamiento	Px (MPa)					
	6 hrs	9 hrs	12 hrs	15 hrs	18 hrs	21 hrs
T1	-0,20a	-0,52a	-0,79a	-0,95ab	-0,65a	-0,39a
T2	-0,21a	-0,56a	-0,93b	-1,01bc	-0,77b	-0,40a
T3	-0,21a	-0,53a	-0,83a	-0,91a	-0,86c	-0,43a
T4	-0,35b	-0,84b	-1,11c	-1,06c	-1,05d	-0,72b

1/ letras distintas en la misma columna indican diferencias significativas de acuerdo a la prueba de comparación múltiple LSD.

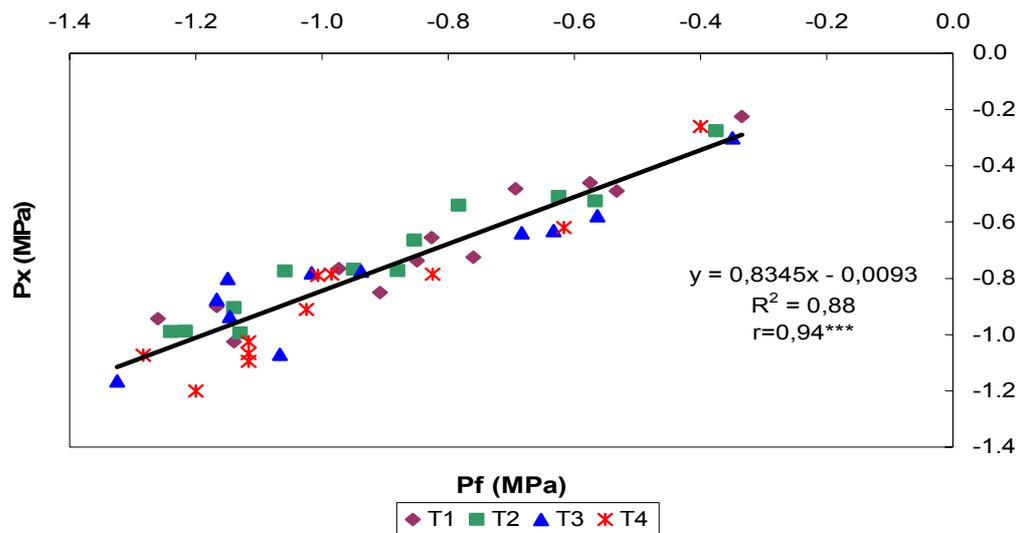


Figura 4. Relación entre Pf y Px promedio para cada hora entre las 9 y las 15 hrs. para todos los ciclos diarios.

Potencial de solutos y potencial de presión: En la figura 5 se muestra la evolución diaria del potencial de solutos (A) y el potencial de presión (B) para los tratamientos 1 y 3, 79 ddb. El Ps mostró un comportamiento similar en ambos tratamientos presentando diferencias estadísticamente significativas, donde T1 presentó valores más altos los cuales fluctuaron entre -1,38 y -1,21 MPa y T3 presentó valores entre -1,59 y -1,38 MPa. En ambos tratamientos el valor menor se presentó a las 12 hrs. El Pp también presentó un comportamiento similar en ambos tratamientos con valores entre 0,34 y 0,72 MPa para T1 y 0,4 y 0,79 MPa para T3. A diferencia del Ps los valores del Pp fueron muy similares entre tratamientos no presentando diferencias significativas entre éstos, lo que nos permite inferir que una disminución del Ps en tratamientos con déficit hídrico permite a la planta mantener su Pp. Resultados similares encontraron Rodrigues *et al.* (1993) *in vivo*, Sánchez *et al.* (1998) en trabajos realizados en porotos y Chimenti *et al.* (2002) *in vitro*, encontrando estos autores que el mantenimiento del potencial de presión influye de manera positiva en el rendimiento bajo condiciones de déficit hídrico.

El potencial de presión promedio de los 4 tratamientos medido en 3 fechas entre las 9 y las 15 hrs se relacionó negativamente con el DPV ($R^2 = 0,85^{***}$), lo que indica que al aumentar el DPV el Pp tiende a disminuir y así también la turgencia, causando una deshidratación foliar transitoria en las horas de máximo DPV debido a una mayor demanda de agua de parte de la atmósfera. (Figura 6)

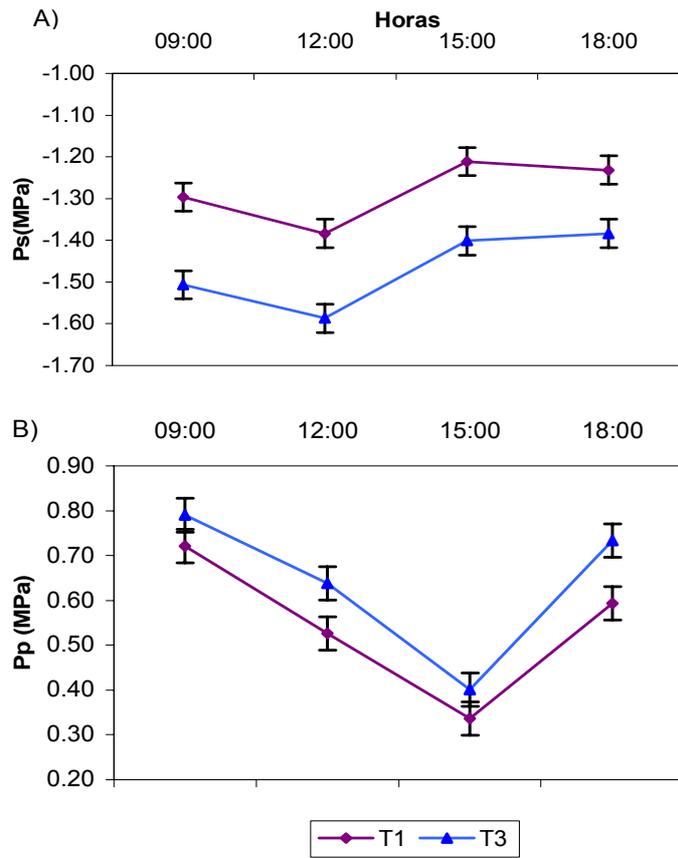


Figura 5. Comportamiento del Potencial de solutos (Ps, A) y del Potencial de presión (Pp, B) para T1 y T3 79 ddb.

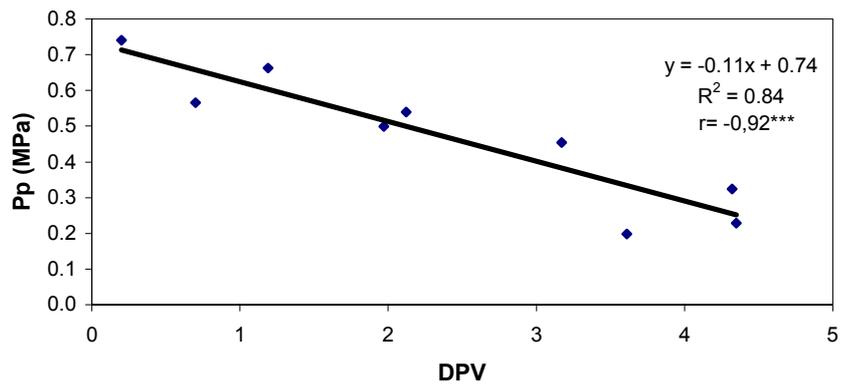


Figura 6. Relación entre Pp promedio de los 4 tratamientos medidos en tres ciclos diarios entre las 9 y las 15 hrs y el DPV.

Comportamiento temporal

Potencial hídrico xilemático y foliar: El potencial hídrico xilemático medido a medio día o potencial hídrico xilemático mínimo (Pxm) fue mayor que el potencial hídrico foliar mínimo (Pfm) durante toda la temporada como lo indica la literatura para vid (Choné *et al.* 2001; Williams y Araujo, 2002 y Patakas *et al.* 2005) debido a no estar expuesto a una pérdida de agua directa. Según Meyer y Reicosky (1985) el Px representa el potencial hídrico del brote donde se inserta la hoja, reflejando en mejor forma el estado hídrico de la planta. Los valores de Pxm son máximos al comienzo de la temporada de riego (octubre) cuando aun no se aplicaba el primer riego en los tratamientos, fluctuando entre $-0,53$ y $-0,33$ MPa. El tratamiento 4 presentó valores superiores a los demás tratamientos. El Pfm presentó su valor máximo en la misma fecha que el Pxm y éstos fluctuaron entre $-0,67$ y $-0,48$ MPa aquí T4 también presentó el mayor valor.

Los valores más bajos de Pxm se presentaron en los tratamientos 2, 3 y 4 a fines de noviembre y variaron entre $-1,1$ y $-1,0$ MPa donde T4 presentó el valor menor o más negativo. El tratamiento 1 presentó su valor mínimo 183 ddb siendo éste de $-0,96$ MPa, en esta misma fecha el Pfm presentó sus valores mínimos para los tratamientos 1, 3 y 4 con valores que fluctúan entre $-1,38$ y $-1,27$ MPa donde T1 presentó el valor más negativo y T4 el valor mayor; el tratamiento 2 presentó su valor mínimo 27 ddb con $-1,37$ MPa.

El Pxm se relacionó con el contenido de agua del suelo ($R^2 = 0,22^{***}$) considerando los datos obtenidos de las mediciones de todos los tratamientos (regresión lineal, $y = -1,22 + 0,002x$). Resultados similares encontraron en otros cultivos de vid Williams y Araujo (2002) y Naor (2004). Considerando los

tratamientos por separado se obtuvo que el Pxm se relacionó con el contenido de agua del suelo en los tratamientos 2 ($R^2 = 0,23^{***}$), 3 ($R^2 = 38^{***}$) y 4 ($R^2 = 0,62^{***}$), en el tratamiento 1 no se relacionó. Según Meyer y Reicosky (1985) y Cohen (1994) esto se debería a que en plantas sin restricción hídrica el potencial hídrico es atribuible principalmente a la demanda evaporativa de la atmósfera, al contrario en plantas sometidas a estrés hídrico el potencial hídrico es inducido por un abastecimiento insuficiente de agua de parte del suelo.

El Pfm se relacionó con el contenido de agua del suelo ($R^2 = 0,12^{***}$) considerando los datos obtenidos de las mediciones de todos los tratamientos (regresión lineal, $y = -1,39 + 0,003x$). Si se analiza los tratamientos por separado se obtuvo que el Pfm se relacionó con el contenido de agua del suelo solo en el tratamiento 4 ($R^2 = 0,42^{***}$).

Para analizar el comportamiento del Pxm y el Pfm durante la temporada, ésta última se dividió en 4 etapas, las cuales van de brotación a floración (E1), de floración al 4 de diciembre (fecha que corresponde a un día antes de aplicar el primer riego en el tratamiento 4, donde se logra un estrés considerable) (E2), del 4 de diciembre a inicio de pinta (E3) y de inicio de pinta a cosecha (E4).

El Pfm y el Pxm presentaron diferencias significativas entre tratamientos y etapas fenológicas, existiendo interacción entre el estado fenológico y el tratamiento de riego, lo que significa que la planta responde de forma distinta a los tratamientos de riego según la etapa fenológica en que se encuentre. (Cuadro 3)

Cuadro 3. Valores de potencial hídrico foliar y xilemático promedio durante las cuatro etapas de desarrollo.

Tratamiento	Pfm (MPa)				Pxm (MPa)			
	ETAPA 1	ETAPA 2	ETAPA 3	ETAPA 4	ETAPA 1	ETAPA 2	ETAPA 3	ETAPA 4
T1	-0,955a	-1,018a	-0,961a	-1,063a	-0,737ab	-0,840a	-0,736a	-0,801a
T2	-0,936a	-1,032a	-1,004a	-1,117b	-0,766ab	-0,866a	-0,789b	-0,858bc
T3	-1,042b	-1,119b	-0,971a	-1,071ab	-0,788b	-0,934b	-0,832b	-0,809ab
T4	-0,925a	-1,157b	-0,966a	-1,123b	-0,722a	-0,989c	-0,795b	-0,881c

1/ letras distintas en la misma columna indican diferencias significativas de acuerdo a la prueba de comparación múltiple LSD.

Si expresamos los valores de potencial hídrico con respecto al tratamiento 1 (valores relativos) se puede observar (figura 7) que tanto en el Pfm como en el Pxm presentaron valores alejados del testigo (T1). Los valores obtenidos hasta 139 ddb (cerca de plena pinta) son inferiores al tratamiento testigo y después de plena pinta los valores aumentaron sobrepasando al testigo en la mayoría de las mediciones.

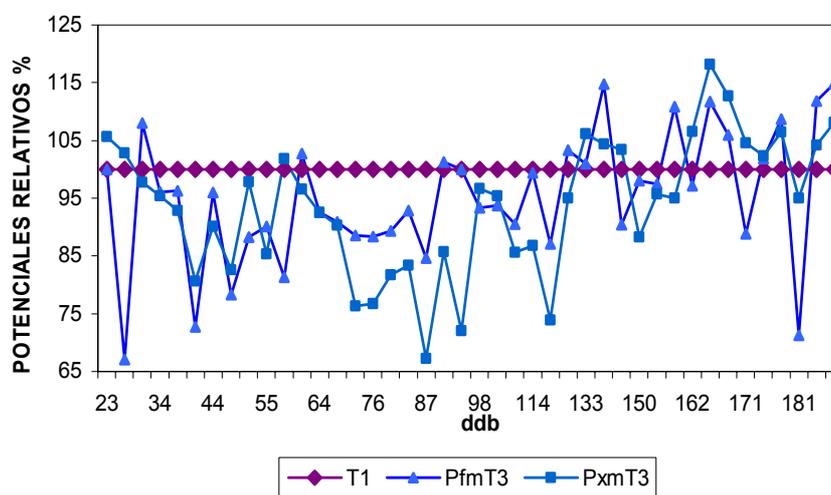


Figura 7. Variación porcentual del Pfm y Pxm con respecto al tratamiento testigo (T1)

El Pxm, de manera similar a lo encontrado a escala diaria se relacionó con el Pfm ($R^2=0,64^{***}$) considerando los datos de todos los tratamientos (figura 8), observándose que al aumentar el Pfm el Pxm también aumenta, al considerar los tratamientos por separado todos se relacionaron. De acuerdo a los valores obtenidos de Pxm y Pfm se puede determinar el pfm como en promedio un 30% inferior al Pxm. Williams y Araujo (2002) trabajando con Chardonnay y Cabernet Sauvignon llegaron a relaciones similares con un $R^2= 0,92$; también Naor (2004) en ciruelos encontró relación entre estos parámetros con $R^2= 0,78$.

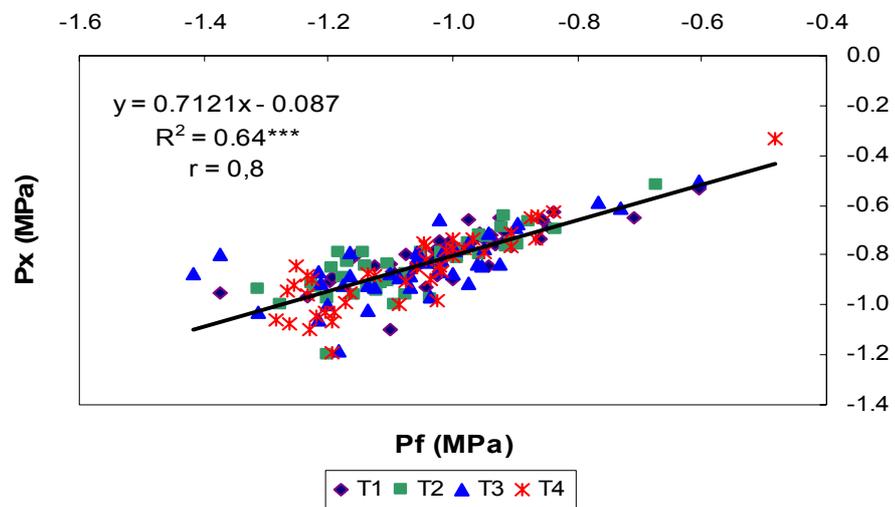


Figura 8. Relación entre Pxm Y Pfm considerando todos los tratamientos.

Ajuste osmótico: En la figura 9 se muestra el Ps100 de los tratamientos 1 y 3 medidos en distintas fechas durante el período de experimentación. El Ps100 de plantas bien regadas como de plantas sometidas a estrés hídrico presentaron un comportamiento similar observándose diferencias estadísticamente significativas entre el tratamiento 1 y 3, donde el tratamiento sometido a una restricción hídrica presentó valores menores de Ps100, lo que indica una acumulación de solutos. Los valores para T1 fluctuaron entre $-1,36$ y $-0,6$ MPa, con un promedio durante la temporada de $-1,02$ MPa. Para T3 los valores fluctuaron entre $-1,68$ y $-0,66$ MPa con un promedio de $-1,21$ MPa.

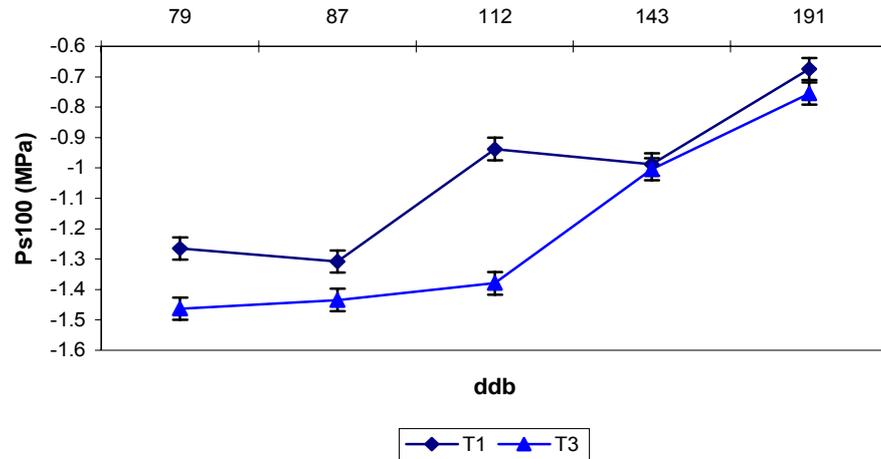


Figura 9. Valores promedio de potencial de solutos corregido por CRA (Ps100) llevados a turgor máximo para T1 y T3 durante la temporada.

La diferencia de Ps100 entre el tratamiento control (T1) y el tratamiento sometido a estrés hídrico (T3) demostró la presencia de un ajuste osmótico logrando un grado máximo de 0,36 MPa a los 112 ddb (inicio de tinta) como respuesta de la planta para disminuir los efectos causados al estar sometida a un déficit hídrico, resultados similares encontraron en otros cultivares de vid Rodrigues *et al.* (1993) y Schultz y Matthews (1993) quienes también observaron una disminución del potencial de solutos a saturación en plantas estresadas alcanzando valores entre -1,82 y -1,37 MPa, menores a los observados en este ensayo. Por otro lado Kaiser *et al.* (2004) trabajando con cultivares argentinos no encontró ajuste osmótico lo que pudo deberse al método utilizado para provocar el estrés hídrico, ya que aunque se regó con la mitad de agua que el tratamiento control la aplicación se hizo cada 3 días y para producir un ajuste osmótico el estrés debe ser por un período de tiempo mas prolongado pudiendo después del riego diluirse los solutos nuevamente y por lo tanto perder el ajuste osmótico. Otros autores han encontrado ajuste osmótico en otras especies como porotos (Sánchez *et al.* 1998 y Bayuelo-Jimenez *et al.* 2003) y maravilla (Chimenti *et al.* 2002) encontrando que el ajuste osmótico contribuye al mantenimiento de potenciales de presión positivos y de la producción en condiciones de déficit hídrico, lo que indica una mayor resistencia a

la sequía. Además según Yong-Mok (2001) el ajuste osmótico puede contribuir a mantener una mayor conductancia estomática.

Los valores de contenido relativo de agua (CRA) fueron de 91 y 88 % para T1 y T3 respectivamente, y no presentaron diferencias significativas entre tratamientos, de lo cual se puede deducir que el ajuste osmótico permite a la planta mantener un contenido de agua regular en condiciones de déficit hídrico, ya que según como lo describe Kramer (1974) el CRA disminuye al disminuir la disponibilidad de agua en el suelo. Rodrigues *et al.* (1993) trabajando con el cultivar Rosaki tampoco encontró grandes diferencias entre el CRA de plantas bien regadas y plantas estresadas las cuales alcanzaron valores de 92 y 90% respectivamente no encontrando una disminución del contenido de agua en hojas de plantas bajo estrés hídrico.

Intercambio gaseoso

Evolución diaria

Conductancia estomática: Los valores de conductancia estomática más altos se registraron en la mañana (C_e max), entre las 9 y las 10 hrs. Resultados similares encontraron Felmer y Ortiz (1997) y Riveros (2002), trabajando con otros cultivares de vid, quienes mencionan que esto se debería a que la demanda atmosférica a esa hora es mínima y a la presencia de estímulo lumínico. Este comportamiento de los estomas demuestra que a esa hora de la mañana se obtendría la mínima resistencia para el flujo de CO_2 y a su vez la menor pérdida de

agua debido a la baja demanda atmosférica, perdiendo un mínimo de agua por molécula de CO_2 captada. Luego al aumentar el DPV, los valores de C_e disminuyen sin aumentar nuevamente cuando el DPV desciende. Rodrigues *et al.* (1993) y Kaiser *et al.* (2004) encontraron en otros cultivares que los valores máximos de C_e también se presentaban durante la mañana declinando progresivamente durante el día. Sin embargo Alarcón *et al.* (2000) encontró en damascos valores máximos de conductancia estomática alrededor del medio día lo que nos indica que no todas las especies poseen el mismo comportamiento estomático. Es mas De Lorenzi y Rana (2000) trabajando en uva de mesa cultivar Italia encontraron valores máximos de C_e para algunos días en la mañana y para otros al medio día, lo que indica que el comportamiento estomático varía incluso dentro de la misma especie, según el cultivar.

Para el ciclo diario realizado 112 ddb, momento en el cual el contenido de agua del suelo en T4 se encuentra por debajo del PMP los valores de conductancia estomática máximos se encontraron entre 0,47 y 0,76 cm s^{-1} presentando T1 los valores máximos y T4 los mínimos. luego disminuyen hasta llegar al anochecer a valores que fluctúan entre 0.06 y 0,17 cm s^{-1} (figura 10)

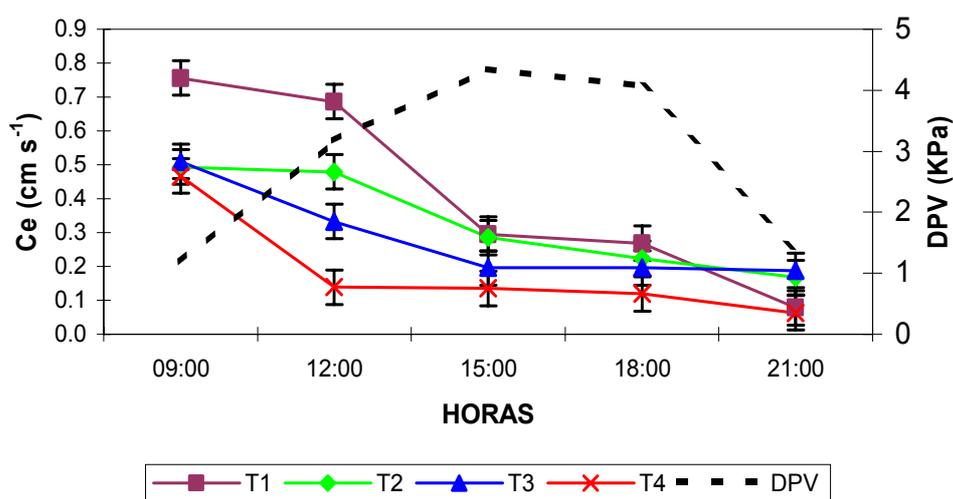


Figura 10. Evolución diaria de la C_e y DPV 112 ddb.

La Ce presentó diferencias significativas entre tratamientos y horas de medición, existiendo interacción entre ambas variables, los valores promedios para cada hora y tratamiento y sus respectivas diferencias se presentan en el cuadro 4. Las mayores diferencias se registraron a las 12 hrs, lo que indica que a esa hora la Ce se ve mas afectada ante una restricción hídrica

Cuadro 4. Valores promedio de Ce 112 ddb

Tratamiento	Ce (cm s ⁻¹)				
	9 hrs	12 hrs	15 hrs	18 hrs	21 hrs
T1	0,756a	0,686a	0,295a	0,268a	0,078a
T2	0,494b	0,479b	0,285a	0,224ab	0,167a
T3	0,509b	0,333c	0,196ab	0,196ab	0,188a
T4	0,467b	0,139d	0,135b	0,119b	0,063a

1/ letras distintas en la misma columna indican diferencias significativas de acuerdo a la prueba de comparación múltiple LSD.

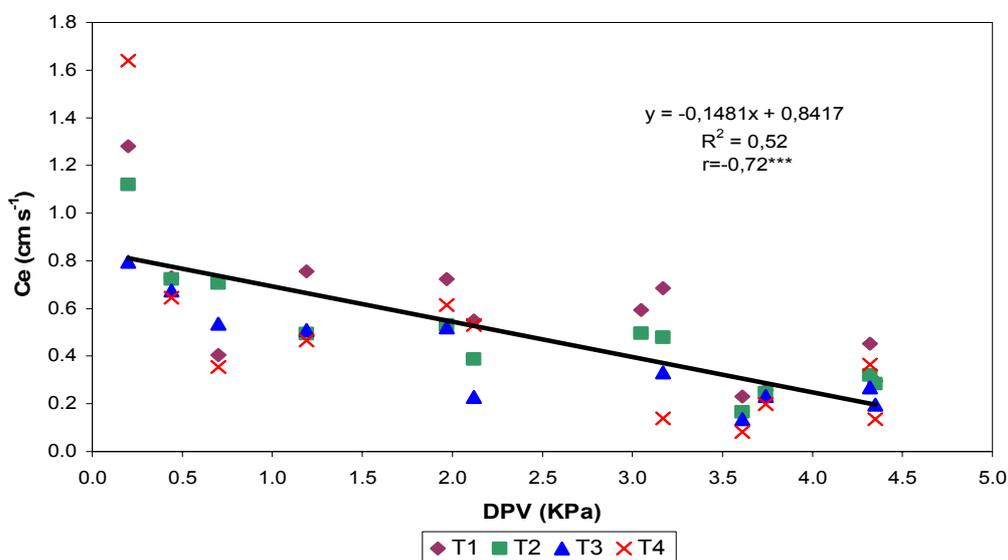


Figura 11. Relación entre Ce promedio de cada hora entre las 9 y las 15 hrs y DPV para todos los ciclos diarios.

Al considerar el período entre 9 y 15 hrs, la C_e se relacionó con el DPV en todos los tratamientos con $R^2=0,49^{**}$ (T1), $R^2= 0,71^{***}$ (T2), $R^2=0,8^{***}$ (T3) y $R^2=0,48^*$ (T4). Al considerar todos los tratamientos en conjunto el valor de R^2 fue de $0,52^{***}$. (figura 11).

También para el período comprendido entre las 9 y 15 hrs, la C_e se relacionó con el P_x en todos los tratamientos con $R^2=0,52^{**}$ (T1), $R^2= 0,7^{***}$ (T2), $R^2=0,62^{**}$ (T3) y $R^2=0,8^{***}$ (T4). Considerando todos los tratamientos en conjunto el R^2 fue de $0,62^{***}$. Datos entre las 9 y las 15 hrs. (figura 12).

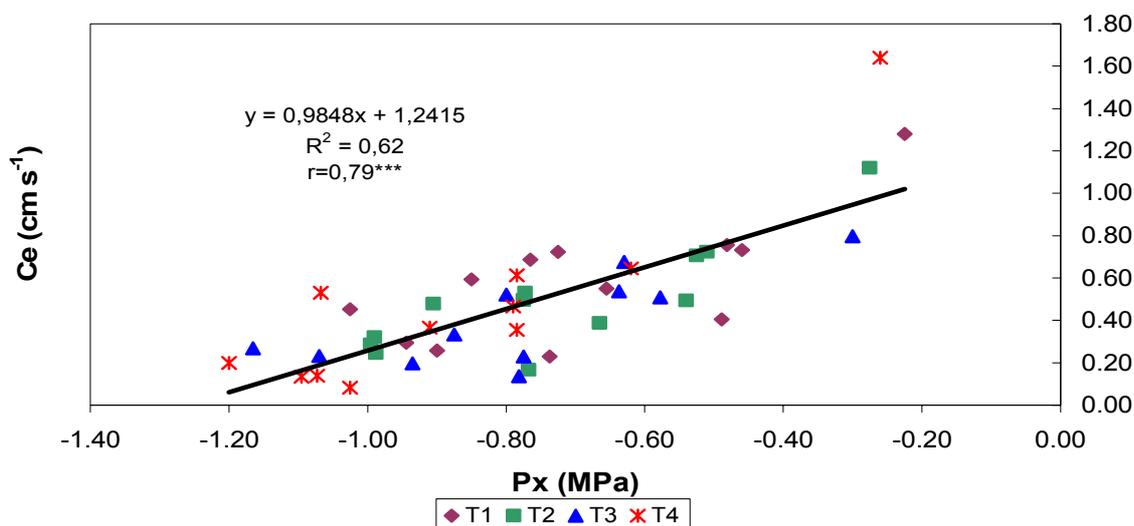


Figura 12. Relación entre P_x y C_e promedio de cada hora entre las 9 y las 15 hrs.

Flujo de savia: En la figura 13 se muestra el comportamiento del flujo de savia (F_s) y el DPV entre los 143 y 145 dbb para los tratamientos 1, 2 y 4. Se observó un comportamiento similar en todos los tratamientos, sin embargo la tasa de transpiración es menor en tratamientos sometidos a menores aportes de agua. Los valores de F_s máximos se presentaron cerca del medio día.

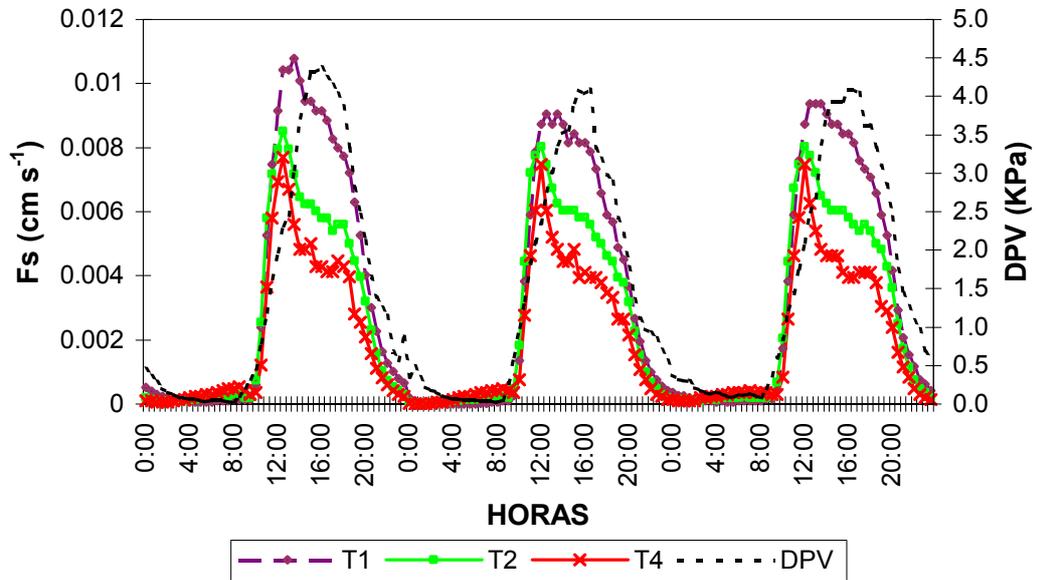


Figura 13. Evolución del Fs medido cada media hora para los días 143, 144 y 145.

En la figura 14 se presenta la evolución diaria del Fs y DPV (143 ddb) fecha en la cual T4 se encontraba con un contenido de agua del suelo similar a T2, donde se observó valores de Fs máximos entre las 12³⁰ y 13³⁰ hrs, los que fluctuaron entre los 0,0076 y 0,0108 cm s⁻¹ para T4 y T1 respectivamente, el DPV alcanzó su valor máximo tres a cuatro horas después el cual correspondió a 4,4 KPa, durante la noche el Fs disminuyó llegando a valores cercanos a cero. Alarcón *et al.* (2000) trabajando con damascos encontró variaciones considerables en el Fs durante el día, donde los valores máximos son alcanzados pasado el medio día y al anochecer estos son cercanos a cero, notándose un descenso de los valores en tratamientos expuestos a déficit hídrico. Por otra parte, De Lorenzi y Rana, (2000) en sus estudios en uva de mesa C.V. Italia encontraron los máximos Fs también entre las 12 y 13 hrs.

Las variaciones del Fs durante el día pueden ser explicadas por el DPV, con el cual se relacionó en todos los tratamientos de riego analizados con $R^2=0,84^{***}$,

$R^2=0,71^{***}$ y $R^2=0,65^{***}$ para T1, T2 y T4 respectivamente (Figura 17), al analizar el DPV con el promedio de Fs de los 3 tratamientos, éstos también se relacionaron $R^2=0,76^{***}$. (Figura 18). Observándose una clara respuesta del Fs a los cambios del DPV durante el día ya que al aumentar la demanda de agua de la atmósfera la plantase ve obligada a aumentar la velocidad del flujo savial, relaciones similares encontraron Eastham y Gray (1998) y De Lorenzi y Rana (2000)

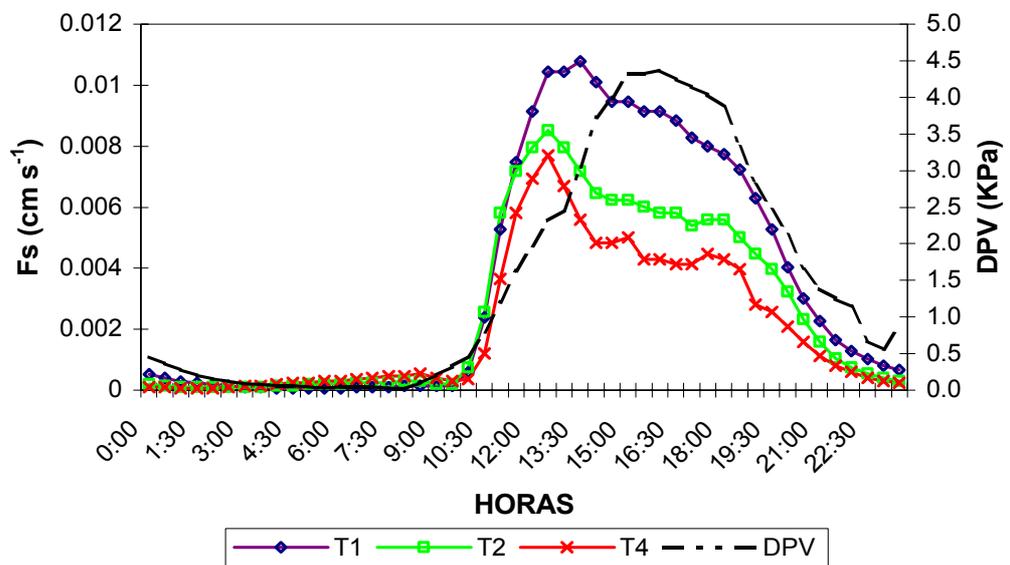


Figura 14. Evolución diaria del Fs y DPV 143 ddb.

El valor de Fs es distinto para un mismo valor de DPV dependiendo del sentido que siga la curva, es decir si el DPV se encuentra en ascenso o descenso, este fenómeno se conoce con el nombre de histéresis. Al encontrarse el DPV en ascenso los valores de Fs son mayores que cuando el DPV se encuentra en descenso, lo que se puede deber a que al comenzar el descenso de los valores del DPV las condiciones de luminosidad son inferiores lo que se traduce en una menor apertura estomática ya que en ausencia de luz no es factible la fotosíntesis por lo que no es necesario el CO_2 y esto provoca una menor transpiración

En la figura 15 se muestra la relación entre el Fs promedio de los 3 tratamientos monitoreados y el DPV, existiendo una alta relación, $R^2 = 0,76$. Alarcón *et al.* (2000) también encontró flujos de savia mayores al aumentar el DPV. Al relacionar el DPV con el Fs en los tratamientos por separado se observó que el Fs responde a la demanda atmosférica tanto en tratamientos abastecidos correctamente de agua como en tratamientos estresados hídricamente con un R^2 de 0,84; 0,71 y 0,65 para T1, T2 y T4 respectivamente. Eastham y Gray (1998) trabajando con otros cultivares de vid encontraron relaciones similares donde el Fs aumentaba al incrementarse el DPV.

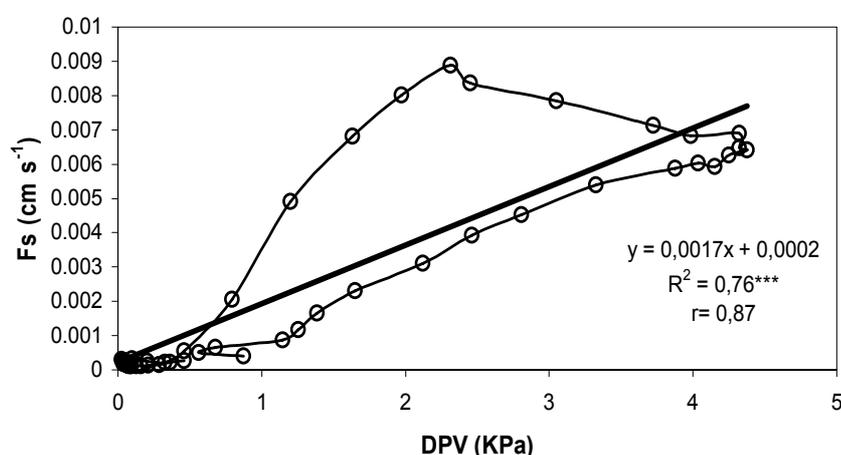


Figura 15. Relación diaria entre DPV y Fs promedio de T1, T2 y T4 143 ddb.

La velocidad del flujo de savia se relacionó con el potencial hídrico xilemático $R^2=0,95***$, $R^2=0,87***$ y $R^2=0,75***$ para T1, T2 y T4 respectivamente. Al analizar los tratamientos juntos el R^2 fue de $0,73***$ (figura 16), para todos los tratamientos el coeficiente de correlación fue negativo lo que indica que al aumentar el Fs los valores de Px se hacen más negativos. El Fs también se relacionó negativamente con el potencial hídrico foliar ya que al aumentar el DPV y la transpiración la pérdida de agua a través de las hojas excede a la absorción de

parte de las raíces lo que origina una disminución del potencial hídrico foliar y xilemático (Sanchez-Díaz y Aguirreolea, 2000b). Alarcón *et al.* (2000) en sus trabajos con damascos también encontró relación entre Fs y Pf.

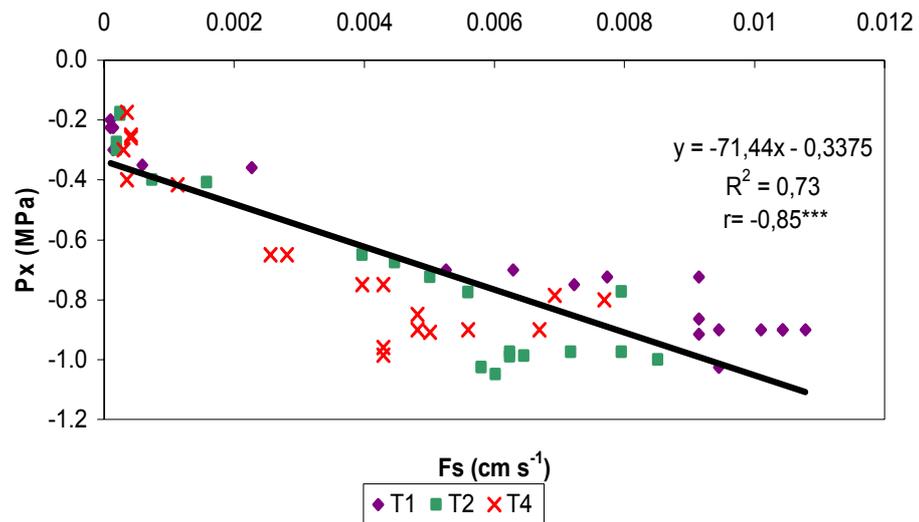


Figura 16. Relación diaria entre F_s y P_x 143 ddb.

En la figura 17 se observa la relación entre el F_s y la temperatura de la canopia la cual se relacionó en todos los tratamientos con $R^2=0,65^*$, $R^2=0,78^{**}$ y $R^2=0,72^*$ para T1, T2 y T4 respectivamente. Considerando los tratamientos juntos el R^2 fue de $0,63^{***}$. La temperatura de la canopia esta estrechamente relacionada con la temperatura ambiental y a medida que éstas aumentan en el transcurso del día, la transpiración también lo hace, esto debido a que temperaturas elevadas afectan el DPV con lo que aumenta el gradiente entre la cámara subestomática y la atmósfera (Sanchez-Díaz y Aguirreolea, 2000b).

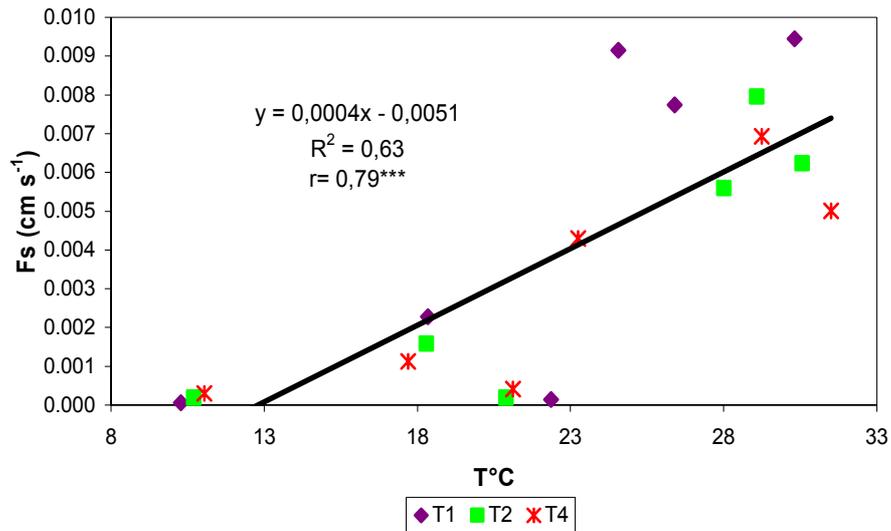


Figura 17. Relación entre Temperatura de la canopia y Fs 143 ddb.

Comportamiento temporal

Conductancia estomática: La apertura estomática máxima ($C_e \max$) registró su valor mas bajo para todos los tratamientos 23 ddb y los valores fluctuaron entre 0,18 y 0,24 cm s^{-1} siendo T3 el que presentó la mayor conductancia estomática y T2 la menor. Desde esta fecha hasta 52 ddb los valores para los distintos tratamientos se mantienen similares, notándose después de esta fecha mayores diferencias entre los distintos tratamientos. Los valores mas altos se presentaron para los tratamientos 1 y 4 58 ddb con valores de 1,49 y 1,57 cm s^{-1} respectivamente; para los tratamientos 2 y 3 estos valores se presentaron 176 ddb con 1,23 y 1,89 cm s^{-1} respectivamente. Al comparar estos valores con los encontrados en la literatura para uva de mesa se encontró que De Lorenzi y Rana (2000) trabajando con vid cultivar Italia, en Italia meridional encontraron valores de $C_e \max$, entre 0,33 y 0,43 cm s^{-1} y Riveros (2002) trabajando en uva de mesa cultivar Thompson Seedless en San Felipe encontró valores máximos entre 0,5 y 0,8 cm s^{-1}

La conductancia estomática no se relacionó con el contenido de agua del suelo y no presentó diferencias significativas entre tratamientos, esto se debe a que la C_e no es controlada solo por la disponibilidad de agua en el suelo, sino que también influyen complejas interacciones entre factores internos y externos de la hoja. La compleja regulación de la C_e esta relacionada en forma importante con la diferencia entre especies y variedades, y es una respuesta del estoma al Pf, ABA y otros parámetros (Medrano *et al.* 2002)

Al no presentar diferencias significativas entre los tratamientos, podríamos decir que ninguno de ellos presentó un cierre de estomas mayor que lo normal (sin déficit hídrico), esto se debe según Riveros (2002) a que en ninguno de los tratamientos se presentó una condición de estrés. Por otra parte Tosso y Torres (1986) postulan que el potencial hídrico influye en la C_e , encontrándose que para muchas especies existe un valor umbral de potencial hídrico foliar, que en el caso de la vid es de $-1,3$ MPa, bajo el cual la C_e disminuye gradualmente hasta llegar al cierre total de los estomas, esto concordaría con los resultados obtenidos, ya que en ningún tratamiento los valores de potencial hídrico foliar fueron menores a $-1,3$ MPa. Sin embargo los tratamientos 3 y 4 presentan menor crecimiento vegetativo y reproductivo (datos no mostrados) lo que se debería al menor suministro de agua. Con respecto a esto Cohen (1994) afirma que los estomas son los principales encargados de regular la transpiración, pero otra manera de reducir la transpiración en plantas estresadas es la reducción del área foliar, observada claramente en T4, lo que hace posible, según Moreno (2003) y Sanchez-Díaz y Aguirreolea, (2000b), reducir la transpiración total de la planta sin necesidad de reducir la C_e , sino como consecuencia de la inhibición del crecimiento aéreo debido a una disminución de la expansión y división celular.

En la figura 18 se observa el comportamiento de la Ce del tratamiento 3 con respecto al tratamiento 1 (valores relativos), a pesar de notarse diferencias en algunos puntos la tendencia no tiene relación con los tratamientos de riego. De acuerdo a esto la Ce no sería un indicador adecuado frente a un déficit hídrico para el cultivar en estudio, no obstante Cifre *et al.* (2005) trabajando con otros cultivares de vid describe la Ce como uno de los indicadores más precisos al momento de detectar un déficit hídrico, mencionando el cierre estomático como uno de los primeros procesos que ocurren en las hojas en respuesta a una sequía. En consecuencia la respuesta de la Ce frente a sequía va depender del cultivar analizado.

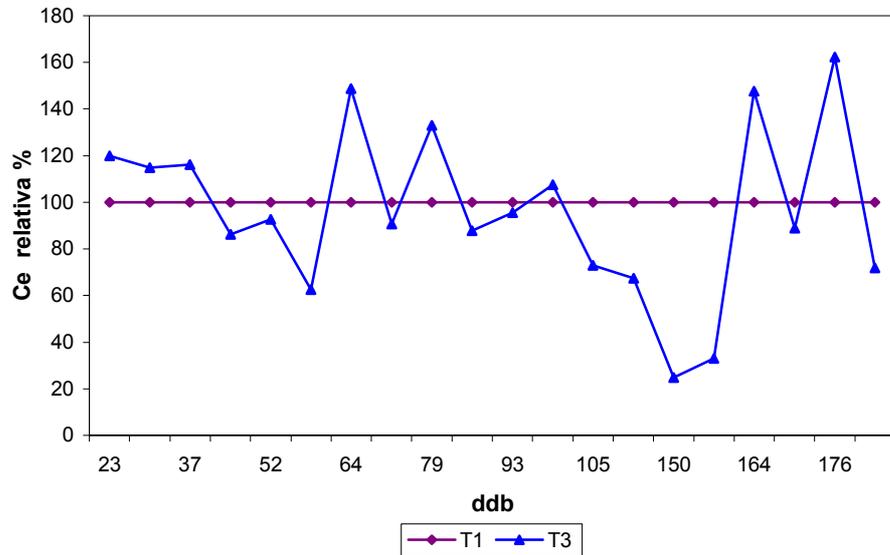


Figura 18. Variación porcentual de la Ce en relación con el testigo (T1).

Flujo de savia: El comportamiento del Fs para los distintos tratamientos fue similar durante la temporada, donde se observó claramente una diferencia entre el tratamiento con reposición de agua 100% y los tratamientos 2 y 4, presentando los tratamientos estresados menores tasas de transpiración notándose los días de baja demanda atmosférica menor Fs.

En la figura 19 se puede apreciar el comportamiento de la transpiración estimada (Te) entre los días 137 y 187 después del brote (ddb) en que la Te es expresada como litros planta⁻¹ día⁻¹.

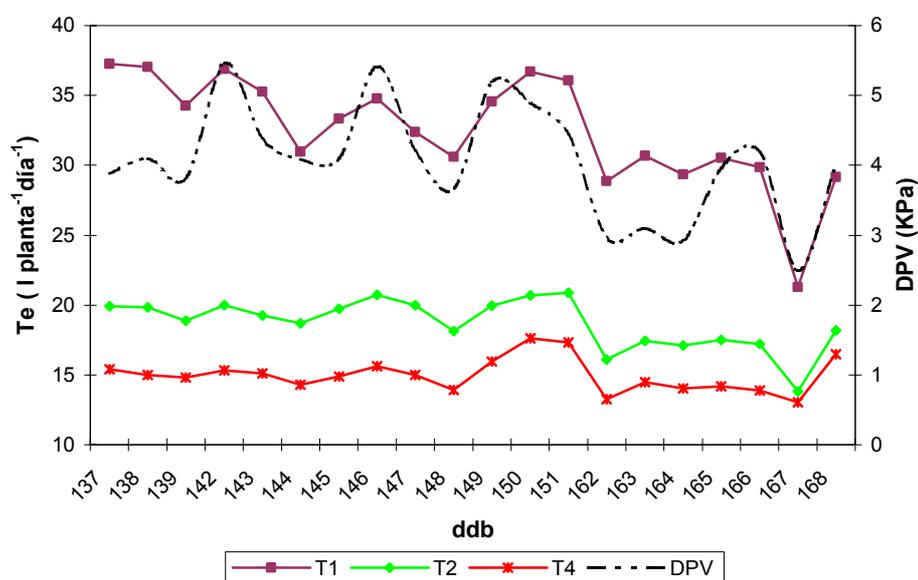


Figura 19. Comportamiento de la Te y DPV max. entre los días 137 y 187 después del brote.

Como se mencionó anteriormente se observó una clara diferencia entre los valores de Te del tratamiento control (T1) y los tratamientos sometidos a déficit hídricos, la transpiración estimada mínima se presentó en todos los tratamientos 167 ddb con 21, 14 y 13 litros planta⁻¹ día⁻¹ para T1, T2 y T4 respectivamente, dicha fecha

coincide con el mínimo valor de DPV obtenido durante los 2 meses de medición, los máximos valores fluctuaron entre 17 y 37 litros planta⁻¹ día⁻¹ y fueron en distintas fechas para cada tratamiento. Estos resultados permiten suponer que la planta en respuesta a un menor contenido de agua en el suelo disminuye su transpiración. Con respecto a esto De Lorenzi y Rana (2000) afirman que cambios en el contenido de agua del suelo afectan la transpiración, además Alarcón *et al.* (2000) observó valores menores de transpiración cuando las plantas están sometidas a estrés hídrico. Por otra parte Eastham y Gray (1998) e trabajos realizados *in vivo*, afirman que una menor tasa de transpiración en tratamientos estresados podría deberse a un cierre estomático en respuesta a un déficit hídrico, lo cual no corresponde a los datos obtenidos en este trabajo ya que no se observó una respuesta estomática clara a los distintos déficits aplicados. Estos autores también postulan que una menor transpiración se puede deber a un menor tamaño de la canopia lo cual se pudo observar en los tratamientos limitados hídricamente, presentando un índice de área foliar (IAF) promedio entre los días 137 y 167 después de brotación de 3,9 y 2,5 para T1 y T4 respectivamente⁴.

Garnier y Berger (1987) afirman que si las condiciones de demanda atmosférica se mantienen altas durante períodos de déficit hídrico las plantas reducen la transpiración para mantener una hidratación suficiente en sus hojas.

Al evaluar la transpiración estimada diaria obtenida con las mediciones de F_s estas se relacionaron solo con el contenido de agua del suelo y el DPV. En la figura 20 se puede observar la relación entre el contenido de agua del suelo y la transpiración estimada considerando los datos obtenidos de todos los tratamientos donde se observa una alta relación, lo que indica que la transpiración está estrechamente relacionada a la disponibilidad de agua en el suelo.

⁴ Informe Proyecto Fondecyt 1020837/2005

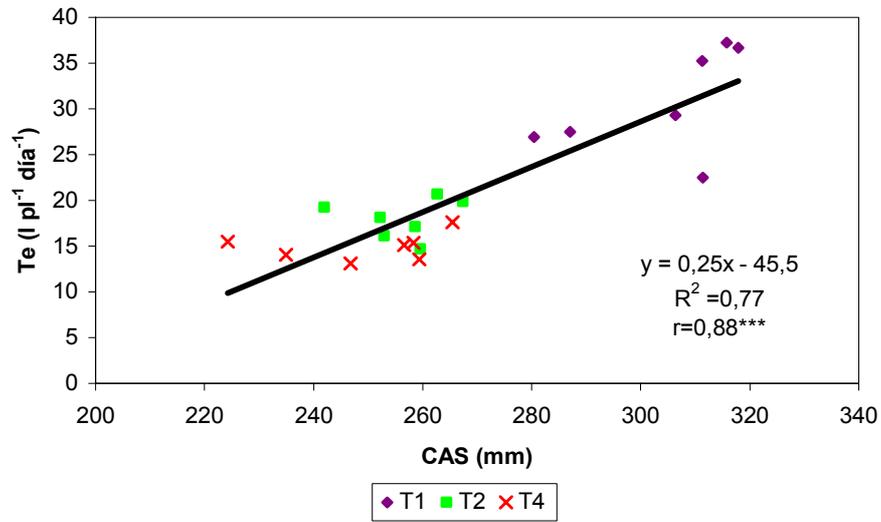


Figura 20. Relación entre CAS y Te entre los días 137 y 187 después del brote.

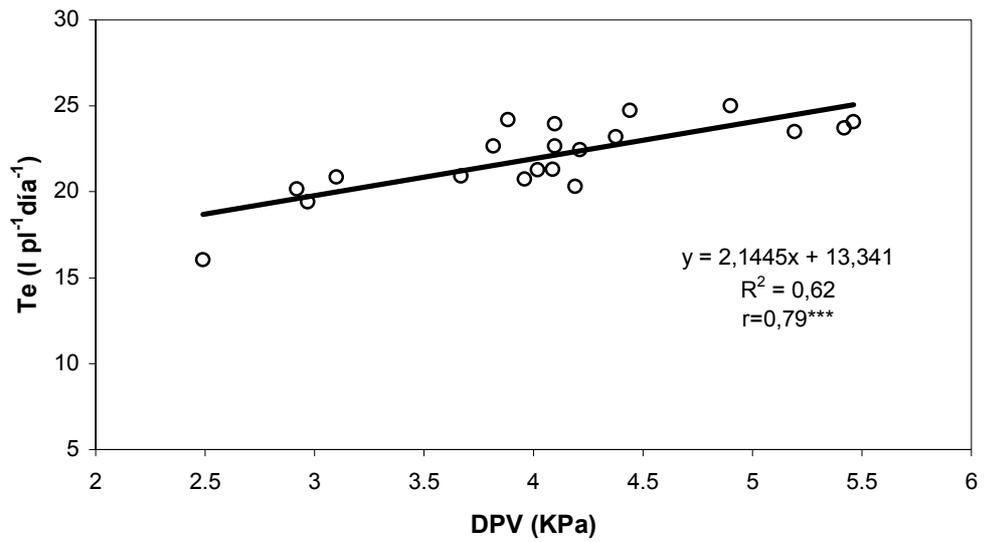


Figura 21. Relación entre DPV max. y Te promedio entre los días 137 y 187 después del brote.

En la figura 21 se observa la relación entre el DPV y la Te, la cual se relacionó en todos los tratamientos y considerando los datos promedio de Te el R^2 fue de $0,62^{***}$, lo que demuestra que los días con mayor DPV el consumo diario de agua

por la planta fue mayor debido a una mayor demanda de agua por parte de la atmósfera. Al comparar las líneas de tendencias en las figuras 20 y 21 se observa una mayor variación de la T_e ante cambios del contenido de humedad de suelo que ante variaciones del DPV.

Si analizamos la transpiración de un tratamiento sometido a estrés hídrico (T2) con respecto al tratamiento control (T1) en valores relativos vemos una clara respuesta al déficit hídrico aplicado donde, el tratamiento 2 presenta una transpiración considerablemente menor que el tratamiento testigo (Figura 23). De acuerdo a estos resultados el F_s es un parámetro eficaz para detectar un déficit hídrico en forma temprana. Con respecto a esto Cohen (1994) afirma que el F_s demuestra tener una gran sensibilidad a los factores climáticos y sobre todo al estrés hídrico, proporcionando una valiosa información al describir en forma continua el movimiento del agua al interior de la planta, pudiendo ser detectada cualquier alteración producida por un estrés.

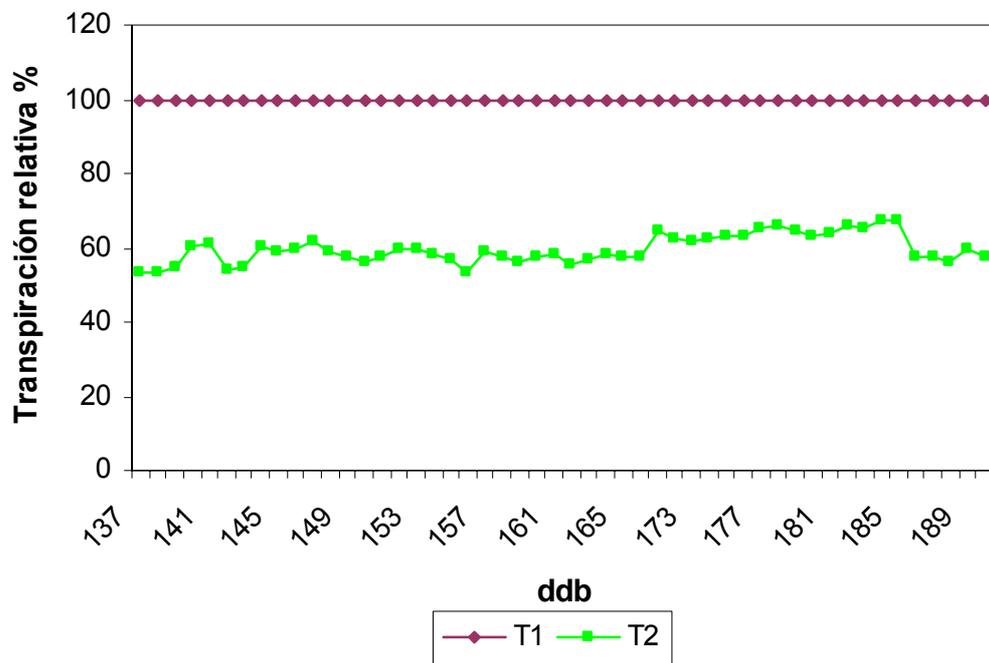


Figura 22. Variación porcentual de la transpiración de T2 con respecto a T1.

Grado de estrés hídrico acumulado

La temperatura de la canopia mantuvo valores mayores en los tratamientos sometidos a estrés hídricos más severos, esto debido a que ante una restricción de agua las plantas disminuyen la transpiración provocando un aumento en su temperatura (Tosso y Torres, 1986; Gurovich, 1989; Gallardo y Thompson, 2003). La sumatoria de $T_c - T_a$, es decir el grado de estrés acumulado (GEA), se torna mas positiva en tratamientos con restricción hídrica, con respecto a éste último Jackson *et al.* (1977) trabajando en ensayos con trigo encontraron también valores mayores de GEA en plantas estresadas, con la diferencia que dichos valores en plantas estresadas eran siempre positivos, presentando las plantas bien abastecidas de agua valores cercanos a cero o negativos.

Los valores de GEA obtenidos en este trabajo indican que la temperatura de la canopia no superó casi en ningún momento la temperatura ambiental, lo que concuerda con los datos obtenidos en mediciones de C_e donde no se observó un cierre estomático en tratamientos sometidos a déficit hídrico, por lo que la transpiración a nivel de hoja no se ve afectada, manteniendo de esta manera temperaturas bajas en la canopia.

En la figura 24 se muestra el grado de estrés acumulado para todos los tratamientos durante la temporada, el cual deja en manifiesto al tratamiento 3 como el mas estresado, al presentar los mayores valores de GEA, al contrario y como es esperado T1 presentó los valores mas negativos demostrando su adecuada condición hídrica.

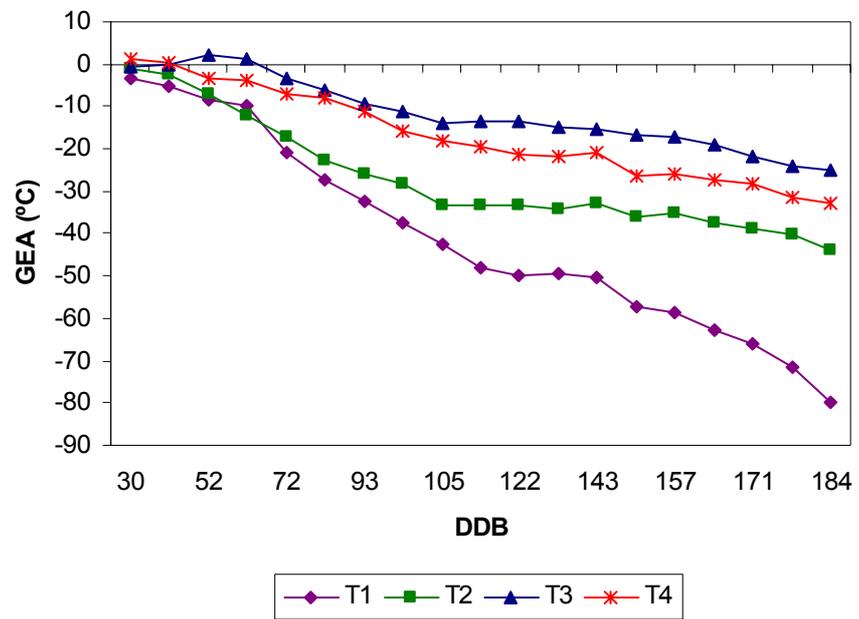


Figura 23. Grado de estrés acumulado (°C) para todo los tratamientos de riego.

CONCLUSIONES

Los indicadores fisiológicos del estado hídrico de la planta estudiados, presentaron diferentes grados de sensibilidad ante una disminución del suministro de agua, siendo algunos no adecuados para el control del riego en uva de mesa.

El potencial hídrico xilemático medido a medio día se relacionó con los regímenes hídricos aplicados, siendo esta relación más estrecha con mayores rangos de agotamiento de agua del suelo.

El potencial hídrico xilemático es menos sensible a condiciones de estrés hídrico que parámetros basados en mediciones continuas del estado hídrico de la planta como es la velocidad de flujo de savia.

El cultivar Crimson Seedless presenta ajuste osmótico posibilitando el mantenimiento en condiciones de déficit hídrico de la turgencia y de los procesos dependientes de la misma, así también como de la conductancia estomática.

La conductancia estomática no es un indicador adecuado del estado hídrico de la planta para fines de riego. Su medición presenta una alta variabilidad, y diferencias entre tratamientos se encontraron sólo en condiciones muy extremas de déficit hídrico. Por otra parte las mediciones de este parámetro demandan una gran cantidad de tiempo.

La velocidad de flujo de savia está estrechamente ligada a los tratamientos de riego, a mayor cantidad de agua aplicada, mayor es la tasa de transpiración de las plantas

LITERATURA CITADA

ALARCÓN, J..J, DOMINGO, R, GREEN S.R, SANCHEZ-BLANCO, M.J, RODRIGUEZ,P. & TORRECILLAS, A. 2000. Sap flow as an indicator of transpiration and the water status of young apricot trees. *Plant and Soil* 227:77-85.

ALLEN, R. G., PEREIRA, L.S., RAES, D. & SMITH. 1998. Crop evapotranspiration. Guidelines for computing crop water requirements. FAO. Irrigation and drainage paper 56, Roma, Italia. 300 p.

BARCELÓ, J, NICOLÁS, G, SABATER, B y SÁNCHEZ, R. 1988. Fisiología vegetal. 5º ed. Ediciones Pirámide. Madrid, España. 823 p.

BARRS, HD & WEATHERLEY PE. 1962. A re-examination of the relative turgidity technique for estimating water deficits in leaves. *Australian Journal of Biological Science* 15: 413-428.

BAYUELO-JIMÉNEZ, J, DEBOUCK, D. and LYNCH, P. 2003. Growth, gas exchange, water relations, and ion composition of *Phaseolus* species grown under saline conditions. *Field Crops Research* 80(3):207-222.

CHIMENTI, C, PEARSON, J and HALL, J. 2002. Osmotic adjustment and yield maintenance under drought in sunflower. *Field Crops Research* 75(2-3):235-246.

CHONÉ, X. C, VAN LEEUWEN, D., DUBOURDIEU and GAUDILLES. 2001. Stem water potencial is a sensitive indicador for grapevine water. *Annals of Botany* 87:447-483.

CIFRE, J. BOTA, J. ESCALONA, J. MEDRANO, H and FLEXAS, J. 2005. Physiological tools for irrigation scheduling in grapevine (*Vitis vinifera* L.) An open gate to improve water-use efficiency? *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 106:159-170.

COHEN, M. 1994. Funcionamiento hídrico y producción frutal del nogal en zonas semiáridas: aplicación al manejo del riego. Tesis Dr. Ing. Agr. Lleida. Universitat de Lleida. Escola técnica superior D'enginyeria agraria. 298 p.

DE LORENZI, F and RANA, G. 2000. Sap flow transpiration measurements in a table grape vineyard growing in southern Italy. *Acta Horticulturae* 537:69-75.

DUCROCQ, M. 1990. Sistemas de irrigación. Ediciones Ceac. Barcelona, España. 116 p.

EASTHAM, J and GRAY, S. 1998. A preliminary evaluation of the suitability of sap flow sensors for use in scheduling vineyard irrigation. *American Journal for Enology and Viticulture* 49(2):171-176.

FELMER, S., y A. ORTIZ. 1997. Respuesta de vid (*Vitis vinifera* L.) cv. Sultanina a diferentes regímenes de agua y fertilizantes. Tesis de Ingeniero Agrónomo. Universidad Mayor, Facultad de Ciencias Silvoagropecuarias, Santiago, Chile. 84 p

FERRADA, M. 2000. Flujo de savia y calidad frutal en tomate (*Lycopersicon esculentum*) cultivado en invernadero bajo 2 régimen hídricos. Tesis de Ingeniero Agrónomo. Universidad de Concepción, Facultad Agronomía, Chillán, Chile. 30p.

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. 1987. The influence of drought on stomatal conductance and water potential on peach trees growing in the field. *Sc. Hort.* 32: 249-263.

GRANIER, A., HUC, R. & BARIGAH S.T. 1995. Transpiration of natural rain forest and its dependence on climatic factors. *Agricultural and Forest Meteorology* 78:19-29.

GRATACOS, E y GUROVICH, L. 2003. Uso de la tecnología del fitomonitor como indicador del estado hídrico del kiwi y su uso en riego programado. Ciencia e Investigación Agraria. 30(2)113-137.

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

GUROVICH, L. 2002. Calidad de la uva de mesa con incrementos artificiales de la salinidad del agua de riego. [en línea]

www.faii.puc.cl/postgrado/cienciaeinv/pdf/enero%2002/131-134.pdf

[consulta : 30 de septiembre de 2003]

GUROVICH, L. y GRATACOS, E. 2002. Aplicaciones del fitomonitor en el manejo del riego. Aconex 71:25-30.

JACKSON, R.D., REGINATO, R.J. & IDSO, S.B. 1977. Wheat canopy temperature: A practical tool for evaluating water requirements. Water Resources, 13:651-656.

KAISER, R. M., CAVAGNARO, J. B., and RIOS, M. 2004 Response of Argentinian and European cultivars of *Vitis vinifera* L. to water stress: II Water relations. Acta Horticulturae 646: 47-54.

KRAMER, P. 1974. Relaciones hídricas de suelo y plantas. Edutex. México. 538 p.

MARTÍN DE SANTA OLALLA, F y DE JUAN VALERO, J. 1993. Agronomía del riego. Universidad de Castilla. La Mancha. España. 732 p.

MARTINEZ, A, HERA DE LA, L. y GUTIERREZ, L. 2000. Consideraciones sobre el riego de la vid. [en línea] www.terralia.com/revista15/pagina22.htm
[consulta: 03 de septiembre de 2003]

MEDRANO, H, ESCALONA, J, BOTA, GULIAS, J and FLEXAS, J. 2002. Regulation of photosynthesis of C₃ plants in response to progressive drought: stomatal conductance as a reference parameter. *Annals of Botany* 89:895-905.

MEYER, W. & REICOSKY, D.C. 1985. Enclosing leaves for water potential measurements and its effects on interpreting soil induced water stress. *Agricultural Meteorology*, 35: 187-192.

MORENO, G. 2003. El agua y las plantas: estrategias para el ahorro del consumo de agua. [On line] consulta 27 de octubre de 2004.
[http:// www.bme.es/juntaex/consejerias/opt/sgtc/aqua/n0/aqua10.htm](http://www.bme.es/juntaex/consejerias/opt/sgtc/aqua/n0/aqua10.htm)

NAOR, A. 2004. The interactions of soil- and ítem-water potentials with crop level, fruti size and stomatal conductance of field-grown 'Black Amber' Japanese plum. *Jal of Horticultural & Biotechnology*. 79(2):273-280.

ORTIZ, M., SILVA, H., SILVA, P. y ACEVEDO, E. 2003. Estudio de parámetros hídricos foliares en trigo (*Triticum aestivum*) y su uso en selección de genotipos resistentes a sequía. *Revista Chilena de Historia Natural*. 76: 331-339.

PATAKAS, A. NOITSAKIS, B and CHOUZOURI, A. 2005. .Optimization of irrigation water use in grapevines using the relationship between transpiration and plant water status. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 106:253-259.

PIRE, R., DE PIRE, M., TORTOLEDO, E. y DE FRÉITEZ, Y. 1988. El riego de la vid (*Vitis vinifera* L.) en el Tocuyo, estado Lara. II. Relaciones suelo agua. *Agronomía Tropical*. 38 (1-3):155-171.

RIVEROS, R. 2002. Efectos del riego deficitario controlado sobre la producción y la calidad del fruto en uva de mesa (sultanina). Tesis Ing. Agr. Santiago. Universidad de Chile. Facultad de Ciencias Agronómicas. 54 p.

RODRIGUES, M. CHAVES, M. WENDLER, R. DAVID, M. QUICK, P. LEEGOOD, R. STITT, M and PEREIRA, J. 1993. Osmotic adjustment in water stressed grapevine leaves in relation to carbon assimilation. *Australian Journal Plant Physiology* 20:309-321.

ROMAN, S. 2000. Fertilizantes solubles y fertirriego en los frutales estratégicos de Chile. En Soquimich (ed) 1 er Seminario Internacional Fertirriego, Santiago, Chile 28-30 de Agosto. 38p.

SALISBURY, F. y PARKE, R. 1968. Las plantas vasculares: forma y función. Herrero Hermanos Sucesores. México. 198 p.

SÁNCHEZ, F, MANZANARES, M, DE ANDES, E, TENORIO, J and AYERBE, L. 1998. Turgor maintenance, osmotic adjustment and soluble sugar and proline accumulation in 49 pea cultivars in response to water stress. Field Crops Research 59:225-235p.

SANCHEZ-DÍAZ, M. y AGUIRREOLEA, J. 2000a. El agua en la planta, p 17-30. En: Azcón-Bieto, J y Talón, M. Fundamentos de fisiología vegetal. Universitat de Barcelona. España. 515 p.

SANCHEZ-DÍAZ, M. y AGUIRREOLEA, J. 2000b. Movimientos estomáticos y transpiración, p 31-44. En: Azcón-Bieto, J y Talón, M. Fundamentos de fisiología vegetal. Universitat de Barcelona. España. 515 p.

SANCHEZ-DÍAZ, M. y AGUIRREOLEA, J. 2000c. Transporte de agua y balance hídrico en la planta, p 45-64. En: Azcón-Bieto, J y Talón, M. Fundamentos de fisiología vegetal. Universitat de Barcelona. España. 515 p.

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

SCHMID, J and BRAUN, P. 1997. Transpiration of grapevines in the field. *Acta Horticulturae* 449(2):475-479.

SCHULTZ, H. and MATTHEWS, M. 1993. Growth, osmotic adjustment, and cell-wall mechanics of expanding grape leaves during water deficits. *Crop Science* 33:287-294.

SELLÉS, G., FERREIRA, R. y SELLÉS, I. 2000. Riego. pp 145-166. *En: 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.*

SELLÉS, G., FERREYRA, R., AHUMADA, R., CONTRERAS, G, y BRAVO, R. 2001. Efecto de la aplicación de tres frecuencias de riego por goteo sobre la uva de mesa (*Vitis vinífera*) cv. Thompson Seedless en el valle de Aconcagua. *En: F. Hevia y E. Hetz (eds) IV Congreso Internacional de Ingeniería Agrícola. Chillán, Chile 9 al 11 de Mayo, 1:270-274.*

SELLÉS, G., FERREIRA, R. y MALDONADO, P. 2002. Cámara de presión: instrumento para controlar el riego a través de mediciones del estado hídrico de las plantas. *Aconex N° 76: 18-22.*

SELLÉS, G., FERREIRA, R., CONTRERAS, G., AHUMADA, R., VALENZUELA, J. y BRAVO, R. 2003. Manejo de riego por goteo en uva de mesa (*Vitis vinífera* L.). Chileriego. N° 13: 44-48

TOSO, J y TORRES, J. 1986. Relaciones hídricas de la vid, bajo diferentes niveles de riego, usando goteo, aspersión y surcos. II. Efecto sobre el crecimiento vegetativo y la producción. Agricultura Técnica. 46(3):283-289.

URIBE, H. y MALDONADO, I. 2000. Programación de riego. Tierra adentro. N° 34 28-31.

VALANCOGNE, C. & NASR, Z. 1993. A heat balance method for measuring sap flow in small trees. In: M- Borghetti, J. Grace & A. Raschi (eds) Water Transport in plants under Climatic Stress. Cambridge, University Press. 166-173.

WILLIAMS, L. E. and ARAUJO, F. J. 2002. Correlations among predawn leaf, midday leaf, and midday stem water potential and their correlations with other measures of soil and plant water status in *Vitis vinífera*. Journal American Society Horticulturæ Science. 127 (3):448-454.

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.

WILSON, J.R., FISHER, M.J., SCHULZE E.D., DOLBY, G.R. & LUDLOW M.M. 1979. Comparison between pressure-volumen and dew point-hygrometry techniques for determining the water relations characteristics of grass and legume leaves. *Oecologia* 41:77-88.

YONG-MOK, MARK. 2001. Comparative water relations of two *Vitis vinifera* cultivars, Riesling and Chardonay. *Korean journal ecology* N° 24 (4) :223-226.

APENDICE I

Fecha	ddb	Estado Fenológico
08/09/03	-	Yema algodonosa
16/09/03	0	Inicio Brotación
22/09/03	6	Brote 3 cm
04/10/03	18	Racimo visible
11/10/03	25	Racimo abierto
18/10/03	32	Brote 70 cm
25/10/03	39	Brote 90 cm
04/11/03	49	Floración
08/11/03	53	cuaja
22/11/03	67	Anillado.
03/01/04	109	Inicio de pinta
14/02/04	151	Plena Pinta
06/03/04	171	Cosecha
13/03/04	178	Cosecha
20/03/04	185	Cosecha