

UNIVERSIDAD DE CHILE
FACULTAD DE CIENCIAS AGRONÓMICAS
ESCUELA DE PREGRADO

**EFFECTO DE DISTINTOS NIVELES DE RIEGO SOBRE LA CONDUCTIVIDAD
HIDRÁULICA EN VIDES ISOHÍDRICAS Y ANISOHÍDRICAS.**

CATALINA PAZ SCHMIDT AGUILERA

SANTIAGO – CHILE
2017

UNIVERSIDAD DE CHILE
FACULTAD DE CIENCIAS AGRONÓMICAS
ESCUELA DE PREGRADO

**EFFECTO DE DISTINTOS NIVELES DE RIEGO SOBRE LA CONDUCTIVIDAD
HIDRÁULICA EN VIDES ISOHÍDRICAS Y ANISOHÍDRICAS.**

**EFFECT OF DIFFERENT LEVELS OF IRRIGATION ON THE HYDRAULIC
CONDUCTIVITY IN ISOHIDRIC AND ANISOHIDRIC VINES**

CATALINA PAZ SCHMIDT AGUILERA

SANTIAGO – CHILE
2017

UNIVERSIDAD DE CHILE
FACULTAD DE CIENCIAS AGRONÓMICAS
ESCUELA DE PREGRADO

**EFEECTO DE DISTINTOS NIVELES DE RIEGO SOBRE LA CONDUCTIVIDAD
HIDRÁULICA EN VIDES ISOHÍDRICAS Y ANISOHÍDRICAS.**

Memoria para optar al título Profesional
de Ingeniera Agrónoma

CATALINA PAZ SCHMIDT AGUILERA

PROFESOR GUIA

CALIFICACIONES

Claudio Pastenes V.
Ingeniero Agrónomo PhD.

6,7

PROFESORES EVALUADORES

José Ignacio Covarrubias P.
Ingeniero Agrónomo Doctor.

6,5

Juan Aguirre G.
Ingeniero en Alimentos Doctor.

6,7

TABLA DE CONTENIDOS

RESUMEN.....	1
ABSTRACT.....	2
INTRODUCCIÓN.....	3
Hipótesis.....	4
Objetivo general.....	5
MATERIALES Y MÉTODOS.....	6
Sitio Experimental.....	6
Material Vegetal.....	6
Implementación de tratamientos.....	6
Evapotranspiración.....	7
Potencial Hídrico.....	7
Radiación <i>PAR</i>	8
Fotosíntesis.....	8
Porcentaje de Pérdida de Conductividad Hidráulica en Sarmientos	8
Diseño Experimental	9
Análisis Estadístico	9
RESULTADOS.....	10
Riego Acumulado.....	10
Potencial Hídrico.....	11
Potencial Hídrico xilemático (ψ_x).....	11
Potencial Hídrico de Prealba (ψ_{pd}).....	14
Radiación <i>PAR</i>	17
Variables Fotosintéticas.....	19
Asimilación neta (A_n).....	19
Transpiración (E).....	28
Conductancia estomática (g_s).....	36
Porcentaje de Pérdida de Conductividad hidráulica en Sarmientos	42
DISCUSIÓN.....	45
CONCLUSIONES.....	49
BIBLIOGRAFÍA.....	50

RESUMEN

El desarrollo de la vitivinicultura en el país se destaca por permitir la producción de vinos de alta gama. Uno de los manejos más comunes en esta actividad es el déficit hídrico controlado, el cual consiste en llevar a las vides a una condición de estrés con el fin de obtener distintas características deseadas para una producción de calidad. Sin embargo, estas prácticas pueden ocasionar problemas en el desarrollo de las vides e incluso provocar daño permanente.

Distintos autores han descrito que las vides al estar sometidas a un déficit hídrico, tendrían distintos mecanismos para evitar daños permanentes. Se les conoce como plantas isohídricas o anisohídricas, las cuales, evidencian diferentes comportamientos estomáticos. Las plantas isohídricas cierran sus estomas completamente, mientras que, las plantas anisohídricas mantendrían sus estomas abiertos el mayor tiempo posible. Se ha descrito que la variedad Cabernet Sauvignon tendría un comportamiento isohídrico, mientras que las variedades Carménère y Syrah poseen una conducta anisohídrica.

La finalidad del presente trabajo fue, monitorear las variables fotosintéticas de cada variedad, además del daño que pueden sufrir las plantas en su sistema hidráulico al enfrentar distintos niveles de riego. Específicamente, disminución de la conductividad hidráulica. La hipótesis del presente estudio señala que un comportamiento anisohídrico es más propenso a generar cavitación, por ende un mayor porcentaje de pérdida de la conductividad hidráulica.

Para conocer el estado hídrico de las vides se realizaron mediciones semanales del potencial hídrico xilemático y de prealba. Además, se realizaron mediciones de distintas variables fotosintéticas (asimilación neta, transpiración y conductancia estomática), de esta manera se logró caracterizar el comportamiento de las vides a través de la temporada. Para determinar la disminución de la conductividad hidráulica, se trabajó con el porcentaje de pérdida de conductividad hidráulica, el cual fue medido al final de la temporada.

Los resultados obtenidos confirman los diferentes comportamientos estomáticos, donde la variedad Cabernet Sauvignon es más sensible a los regímenes de riego diferido. Carménère posee un comportamiento intermedio, el cual es más similar a una variedad isohídrica. Finalmente Syrah posee un comportamiento típico a una variedad anisohídrica, la cual presenta una menor sensibilidad al déficit hídrico. No obstante, al observar la pérdida de conductividad hidráulica en las tres variedades, no se observan diferencias significativas entre sus tratamientos. Pero, al comparar entre variedades se observó que Syrah alcanza un porcentaje de pérdida de conductividad hidráulica mucho menor con respecto a Cabernet Sauvignon y Carménère. Por lo tanto, la cavitación no sólo dependería del comportamiento estomático, sino, existirían otros factores que pueden afectar la conductividad hidráulica en las vides.

Palabras clave: Déficit Hídrico, Porcentaje de pérdida de conductividad hidráulica, conductancia estomática (g_s), Isohídrica, Anisohídrica, Cabernet Sauvignon, Carménère, Syrah.

ABSTRACT

The development of viticulture in the country is notable for allowing the production of high quality wines. One of the most common maneuvers in this activity is the controlled water deficit, which consists in bringing the vines to a stress condition in order to obtain different characteristics desired for a quality production. However, these practices can cause problems in the development of the vines and even cause permanent damage.

Different authors have described that the vines to be subjected to a water deficit, would have different mechanisms to avoid permanent damages. They are known as isohydric or anisohydric plants, which, evidences different stomatal behaviors. The isohydric plants close their stomas completely, whereas, the anisohydric plants would keep its stomas open the greater time as possible. It has been described that the Cabernet Sauvignon variety would have an isohydric behavior, whereas the Carménère and Syrah varieties have an anisohydric behavior.

The purpose of the present work was to monitor the photosynthetic variables of each variety, in addition to the damage that plants could suffer in their hydraulic system, facing different levels of irrigation. Specifically, decreased hydraulic conductivity. The hypothesis in this study is that an anisohydric behavior is more prone to generate cavitation, therefore a greater percentage of loss of the hydraulic conductivity.

In order to know the water status of the vines, weekly measurements of xylem and predawn water potential were carried out. In addition, measurements of different photosynthetic variables (net assimilation, transpiration and stomatal conductance) were carried out, to characterize the behavior of the vines throughout the season. To determine the reduction of hydraulic conductivity, we worked with the percentage of loss of hydraulic conductivity, which was measured at the end of the season.

The results found in this study confirm the different stomatal behaviors, where the Cabernet Sauvignon variety is more sensitive to the regimes of delayed irrigation. Carménère has an intermediate behavior, which is more similar to an isohydric variety. Finally Syrah has a typical behavior to an anisohydric variety, which presents a lower sensitivity to the water deficit. However, when observing the loss of hydraulic conductivity in the three varieties, no significant differences between their treatments were observed. Nevertheless, when comparing between varieties it was observed that Syrah reaches a much lower percentage of loss of hydraulic conductivity compared to Cabernet Sauvignon and Carménère. Therefore, cavitation would not only depend on stomatal behavior, but, there would be other factors that might affect to the hydraulic conductivity in vines.

Keywords: Water deficit, percentage loss of hydraulic conductivity, stomatal conductance (g_s), isohydric, anisohydric, Cabernet Sauvignon, Carménère, Syrah.

INTRODUCCIÓN

En Chile, la vid (*Vitis vinifera* L.) destinada a la producción de vino tiene una superficie aproximada de 130.362 ha (ODEPA, 2013), en donde, la regulación del riego y aplicación de déficit hídrico controlado, es una práctica común en el manejo de la vid para vinos de alta gama (Castellarin et al., 2007). Lo anterior genera un menor crecimiento vegetativo, que favorece el microclima de la zona frutal y la disminución del volumen de las bayas, lo que deriva en una mejor relación entre la pulpa y la piel; aumentando el metabolismo secundario y la concentración de metabolitos secundarios en la baya (Ussahatanonta et al., 1996). Es posible alcanzar distintos niveles de estrés los que son determinados de acuerdo al valor del potencial hídrico xilemático de las plantas donde, de acuerdo a lo planteado por Van Leeuwen (2009), un valor inferior a -0.9 MPa en el potencial xilemático representa el comienzo del estrés para una planta de vid vinífera.

Ante un déficit hídrico ocurre una disminución de la conductancia estomática (g_s), lo que evita que la hoja alcance valores de potencial hídrico extremadamente negativos que desencadenen la ruptura del sistema hidráulico (Tyree and Sperry, 1988; Jones and Sutherland 1991; Schultz and Matthews 1997). La disminución de la conductancia estomática producto de un cierre total o parcial de los estomas repercute directamente en el flujo xilemático de agua. Con lo anterior, no obstante, se limita la capacidad fotosintética de las hojas producto del cierre de estomas, se evita la ocurrencia de fenómenos como la cavitación y embolia. Este último hecho es muy importante ya que los problemas de falla hidráulica, son difícilmente reversibles (Jones, 1998; Steudle, 2001).

Vitis vinifera L. se caracteriza por su diversidad genética con distintas variedades cultivadas alrededor del mundo (Alleweldt et al., 1990; Schutz, 2003). Es por esto que se han descrito diversas estrategias con la que la planta es capaz de enfrentar situaciones de déficit hídrico, donde podemos encontrar especies que “evitan la sequía” también conocidas como plantas isohídricas (Jones, 1998), y en el extremo opuesto a las especies anisohídricas. Las primeras, responden al estrés con un control estomático rápido y, por lo mismo, mantienen los valores de potencial hídrico de medio día por un periodo prolongado de tiempo (Tardieu and Simonneau, 1998). En el caso contrario, las plantas anisohídricas mantienen sus estomas abiertos evitando la disminución fotosintética y la ocurrencia de estrés oxidativo (Jones, 1980). Por lo mismo, estas plantas, en una condición de menor contenido de agua en el suelo, presentan variaciones en su potencial de hoja, muy rápidamente (Franks et al., 2007). Se ha descrito que la variedad Cabernet Sauvignon tiene un comportamiento isohídrico, mientras que Syrah es señalada como una planta anisohídrica (Hochberg et al., 2013). Por otro lado no existe claridad sobre el comportamiento de la variedad Carménère, aunque se sospecha que tenga un comportamiento anisohídrico (Pastenes et al., 2014).

La conductancia estomática y la conductividad hidráulica son consideradas como los factores más importantes en el control del flujo de agua en las plantas (Lovisolo and Schubert, 1997). El agua es transportada desde el sistema radical hasta el follaje a través del xilema, por gradientes de tensión hidráulica, la que se origina desde la evaporación de agua, en las

cámaras subestomáticas, durante la transpiración (Lovisolo and Schubert, 1997; Steudle, 2001). En situaciones de estrés hídrico severo, en donde la tensión aumenta muy fuertemente, es posible que se generen burbujas de aire desde la columna de agua, fenómeno conocido como cavitación. Lo anterior, provoca un bloqueo de los tejidos vasculares, provocando embolia y disminuyendo la conductividad hidráulica en la planta (Sperry et al, 2002). Los vasos anchos y altamente conductivos se presentan en la madera temprana o en raíces, siendo altamente vulnerables a la cavitación (Hacke et al. 2006, Pratt et al., 2008, Christman et al., 2012). En una condición de deficiencia hídrica se induce una disminución en el diámetro de los haces vasculares, esta pérdida en la funcionalidad de los vasos, tiene un efecto significativo en la conductividad hidráulica del xilema, generando una disminución en la conductividad hidráulica dentro de este. Sin embargo, esto permite evitar la embolia (Salleo et al., 1985; Lovisolo et al., 2002).

Por lo general la conductividad hidráulica en plantas estresadas se recupera rápidamente con la rehidratación. Lo anterior permite recuperar la continuidad de la columna de agua por medio de la así llamada “presurización radical de los vasos xilemáticos” (Cochard et al., 1994). Por esta vía, la vid es capaz de recuperar el 40% de su conductividad hidráulica en 24 horas luego de una recuperación del riego (Lovisolo et al., 2008). Se ha observado que la embolia puede ocurrir a tensiones de -1,2 MPa, apareciendo desde los vasos cercanos a la punta del tallo, y extendiéndose radialmente (Brodeersen et al, 2010).

En Chile, es importante conocer el comportamiento hídrico de las variedades de mayor importancia, en diferentes condiciones de régimen de riego durante la temporada. Cabernet Sauvignon, Syrah y Carménère, son las principales cepas tintas para la producción de vinos tintos de alta gama, los cuales son elaborados con altos niveles de estrés a nivel de los viñedos. Se sabe que estas variedades tienen estrategias diferentes para enfrentar el déficit hídrico, pero no existe conocimiento, a partir de experimentos comparativos de las consecuencias que ocurrirían con éste manejo en cada una de ellas. Así mismo, tampoco existe claridad del impacto de condiciones de déficit de riego sobre la gs y su consecuente efecto en la capacidad fotosintética en las distintas variedades. En consideración a los antecedentes expuestos, se propone las siguientes hipótesis.

Hipótesis

-Las plantas isohídricas que disminuyen su conductancia estomática manteniendo niveles de potencial hídrico estables y disminuyendo la capacidad fotosintética presentando un menor porcentaje de pérdida en su conductividad hidráulica al final de la temporada, en comparación a las plantas anisohídricas.

-La pérdida de la conductancia hidráulica en condiciones de riego deficitario y la rehidratación al final de temporada de las variedades Carménère, Cabernet Sauvignon y Syrah, estará afectada por el comportamiento estomático frente a distintos regímenes de riego.

Objetivo general

Evaluar la pérdida de conductividad hidráulica en 3 variedades de *Vitis vinifera* L., Carménère, Cabernet Sauvignon y Syrah, bajo distintos regímenes de riego y su rehidratación al final de la temporada. Además, el impacto sobre la conductancia estomática e intercambio de gases a nivel foliar.

MATERIALES Y METODOS

Sitio experimental

El estudio consistió en tres ensayos independientes sobre variedades de vid para vinificación, este se realizó en el viñedo de Viña Emiliana, Fundo Totihue, en la localidad de Totihue, comuna de Requinoa (34°20'13.1" Sur 70°45'50.8" Oeste), Valle de Cachapoal, en la Región del Libertador Bernardo O'Higgins.

El clima de esta zona es templado cálido con estación seca prolongada y gran nubosidad, las precipitaciones medias anuales corresponden a 462 mm y una temperatura media anual de 14,4 °C (Uribe et al., 2012). El suelo donde se ubica el viñedo pertenece a la Serie de Suelo Milahue, la cual tiene una clase textural Franco Arenosa, con una profundidad efectiva de más de 105 cm (CORFO, 1964).

Material vegetal

Las variedades de vid para vinificación utilizadas en este ensayo fueron Carménère correspondiente a una selección mazal de 16 años, Cabernet Sauvignon de clon 110R de 4 años y Syrah clon 174 de 13 años, todas sobre pie franco, conducidas en espaldera. Las variedades Carménère y Cabernet Sauvignon presentan orientación este-oeste, mientras que Syrah posee una orientación norte – sur. Las tres variedades tienen un marco de plantación 1 x 2.5 m, los cuales son regados por goteo en línea simple, con un rendimiento promedio de 10 ton ha⁻¹, 14 ton ha⁻¹, 8 ton ha⁻¹ respectivamente, donde todos son destinados a la elaboración de vinos de alta gama.

Implementación de tratamientos

Se establecieron 3 ensayos independientes, donde cada uno estuvo constituido por 5 tratamientos, utilizando una combinación de goteros de distinta entrega (Cuadro 1). Desde los inicios de envero (fines de enero 2015) hasta el fin de la temporada (entre los meses de marzo y abril) se aplicó 90%, 60% y 30% de la ETc a los tratamientos T1, T2 Y T3 respectivamente. Por otra parte, los tratamientos T4 y T5 tuvieron riegos de 60% y 30% de la ETc desde inicios de envero, hasta 50 días después de transcurrido este momento, en que se les aumentó el riego a niveles de 90% de ETc cada uno. El sistema de goteo utilizado en el ensayo fue instalado manera independiente al sistema de riego existente en la viña. Para el tratamiento T1 se utilizaron 2 goteros de 8 y 4 L h⁻¹, sumando 12 L h⁻¹ por planta. El tratamiento T2, tuvo 1 gotero de 8 L h⁻¹ por planta; el tratamiento T3 contó con un gotero de 4 L h⁻¹ por planta. Los tratamientos T4 y T5, comenzaron con una asignación de goteros igual a los tratamientos T2 y T3, pero 70 días después de pinta, los goteros de ambos tratamientos fueron cambiados a una combinación de 2 goteros que sumara 12 L h⁻¹ por planta cada uno (Cuadro 1).

Cuadro 1. Regímenes de riego en los distintos tratamientos

Tratamiento	Régimen de riego desde envero	Gotosos x gasto (L h ⁻¹)
T1	90 % ET _c	1x4 1x8
T2	60% ET _c	1x8
T3	30% ET _c	1x4
T4	60% ET _c , luego recuperada al 90%	1x8 luego 1x8+1x4
T5	30% ET _c , luego recuperada al 90%	1x4 luego 1x4+1x8

Evapotranspiración

Para estimar la evapotranspiración se utilizó la guía entregada por FAO (2006), la cual utiliza la siguiente fórmula:

$$ET_c = ET_0 * K_c$$

Donde:

ET_c: Corresponde a la evapotranspiración del cultivo [mm d⁻¹]

K_c: Es el coeficiente del cultivo [adimensional]

ET₀: corresponde a la evapotranspiración del cultivo de referencia [mm d⁻¹].

Los datos de ET₀ se obtuvieron desde la estación meteorológica ubicada en Requinoa, mientras que los valores de K_c se determinaron mediante la metodología descrita por Jara y Valenzuela (1998), la cual se observa en el Cuadro 2.

Cuadro 2. Coeficientes de cultivo (K_c) utilizados en el presente estudio

Meses	Nov.	Dic.	Ene.	Feb.	Mar.
K_c	0,15	0,35	0,50	0,30	0,20

Potencial hídrico.

El potencial hídrico xilemático (ψ_x) se determinó por medio de la cámara de presión (Scholander et al., 1965), de acuerdo a la metodología descrita por Meyer y Reicosky (1985). Las mediciones se realizaron cada 7 días al medio día solar, por el lado de la espaldera expuesto a la luz del sol. Para esto las hojas fueron cubiertas con bolsas plásticas aluminizadas durante 1 hora; se consideró una hoja por repetición. Se completaron en total 10 determinaciones de potencial a través de la temporada de medición. En las primeras 9 fechas se midieron los tratamientos T1, T2 y T3, mientras que en la última fecha se midieron, además, los tratamientos T4 y T5. El primer día para todos los tratamientos, el día 0, corresponde al día 11 de Febrero.

Por otra parte, se realizó la medición de potencial hídrico de pre-alba (ψ_{pd}) cada 15 días para conocer el estado hídrico del suelo, con dos hojas por repetición. Para determinar el potencial hídrico de prealba se realizaron 4 fechas de medición, en donde las tres primeras sólo se midieron los tratamientos T1, T2 y T3; mientras que en la cuarta medición se midieron los 5

tratamientos. La primera medición se realizó a 14 DDR, la segunda medición se realizó a 29 DDR, la tercera medición a 58 DDR y finalmente la última medición se realizó a 71 DDR.

Radiación PAR

La radiación PAR incidente se determinó mediante un radiómetro. Las mediciones se realizaron 5 veces al día, a las 9,00 h, 11,00 h, 13,00 h, 15,00 h y 17,00 h, fueron medidas los días correspondientes a las mediciones fotosintéticas.

Fotosíntesis.

La tasa fotosintética (A_n), la conductancia estomática (g_s) y la transpiración (E) se determinaron simultáneamente por medio de un analizador infrarrojo de gases portátil (IRGA-CIRAS-2, PP-system, UK). Las mediciones se realizaron 5 veces al día, a las 9,00 h, 11,00 h, 13,00 h, 15,00 h y 17,00 h. Se midió en hojas completamente extendidas de vid, que recibían luz solar directa en el tallo principal y en la parte media de la espaldera, utilizando 2 hojas por repetición.

Las determinaciones fotosintéticas se realizaron a los 6, 7 y 8 días después de iniciados los tratamientos de riego (DDR) para Carménère, Cabernet Sauvignon y Syrah respectivamente. Luego, se realizaron determinaciones entre los 20 y 22, entre 48 y 50 y finalmente entre los 59 y 61 DDR, siempre un día para cada variedad y en el mismo orden que el descrito para los primeros 3 días. En cada día de medición se realizaron las determinaciones de A_n , E y g_s .

Para determinar el valor neto al día de la asimilación neta, transpiración y conductancia estomática para cada tratamiento y variedad. Se obtuvo integrando la curva descrita por la variación de estas variables fotosintéticas, para cada día por unidad de tiempo, usando el método del trapecio (Rogers et al., 2004).

Porcentaje de pérdida de conductividad hidráulica en sarmientos.

Para la determinación del porcentaje de pérdida de conductividad hidráulica se extrajeron muestras por cada tratamiento (5) y repetición (5), donde los sarmientos se almacenaron en una caja de aislación térmica, para evitar la evapotranspiración de las hojas y un posible flujo de agua. Para obtener las muestras definitivas, estas se sumergen bajo el agua y se cortan, de tal manera de tener una muestra de 5 cm de largo. Esta medición, se realizó 90 días después de pinta y se estableció mediante un determinador de flujo (XYL'EM-Plus, Fr), de acuerdo a la metodología descrita por Sperry et al. (1988) que consiste en la siguiente fórmula

$$PLC = 100 * (1 - K'/K'')$$

Dónde:

K' : Corresponde a la conductividad hidráulica del sarmiento sin embolismo, y el embolismo es eliminado aplicando una presión de agua constante.

K'' : Corresponde a la conductividad hidráulica del sarmiento con el embolismo asociado.

Diseño experimental

El ensayo contó con un diseño experimental en bloques completamente aleatorizados. Donde cada bloque se estableció con los 5 tratamientos de riego diferenciado y cada tratamiento consistió en 5 plantas consecutivas de similar vigor, las mediciones se realizaron en 3 plantas centrales, para evitar el efecto borde. Cada uno de los bloques fue implementado en hileras distintas. Existieron 5 repeticiones por tratamiento en un total de 5 hileras.

Análisis estadístico

Los datos fueron analizados mediante un ANDEVA con un nivel de confianza del 95%. Al encontrar diferencias estadísticamente significativas los promedios obtenidos fueron comparados a través de la prueba de comparaciones múltiples de Tukey ($p < 0,05$). Para el análisis de los datos se utilizó el software estadístico Infostat®. Las gráficas se realizaron con el software SigmaPlot® versión 12 de Systat Software Inc.

RESULTADOS

Riego acumulado

En la figura 1 se observan los riegos aplicados a las variedades Carménère, Cabernet Sauvignon y Syrah, además se consideró los eventos de precipitación existente durante el tiempo de estudio. Estas fueron determinadas en milímetros a lo largo de la temporada de medición.

El primer riego aplicado ocurrió el 11 de febrero de 2015, luego las fechas de medición se observan en días después del primer riego (DDR).

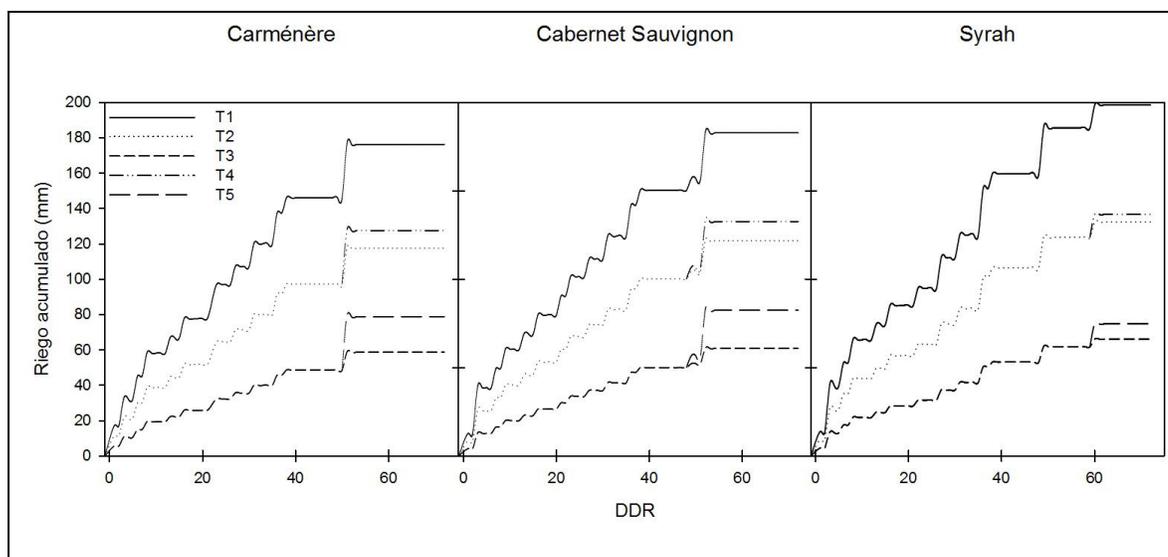


Figura 1. Precipitación acumulada a lo largo de la temporada, incluidos los riegos aplicados más los eventos de lluvia (mm) en tres variedades Carménère, Cabernet Sauvignon y Syrah, para cada uno de los tratamientos. A lo largo de la temporada se observan los tratamientos T1, T2 y T3, mientras que al final de la temporada se aprecia la recuperabilidad del riego de los tratamientos T4 y T5.

POTENCIAL HÍDRICO

Potencial hídrico xilemático (ψ_x)

Carménère

Antes de comenzar los tratamientos, el riego fue suspendido por un período de 3 semanas, lo que se refleja en los bajos niveles de potencial hídrico a comienzos del ensayo. Los valores promedio durante la temporada fluctúan entre los -0,7 MPa y los -1,2 MPa (Figura 2).

A lo largo de la temporada de medición, se observaron diferencias significativas en los niveles de potencial hídrico entre los tratamientos a los 6 días después del primer riego (DDR), 20 DDR y 48 DDR. En estas tres fechas de medición se aprecia que las plantas T1 alcanzaron ψ_x significativamente superiores a T3, mientras que las plantas T2, tratamiento de riego intermedio, no presentaron diferencias significativas con T1 y T3. Al fin de la temporada, a los 59 DDR, los tratamientos T4 y T5, correspondientes a la recuperación del riego al 90% de la ETc, no presentaron diferencias significativas en ψ_x con los tratamientos T1, T2 y T3.

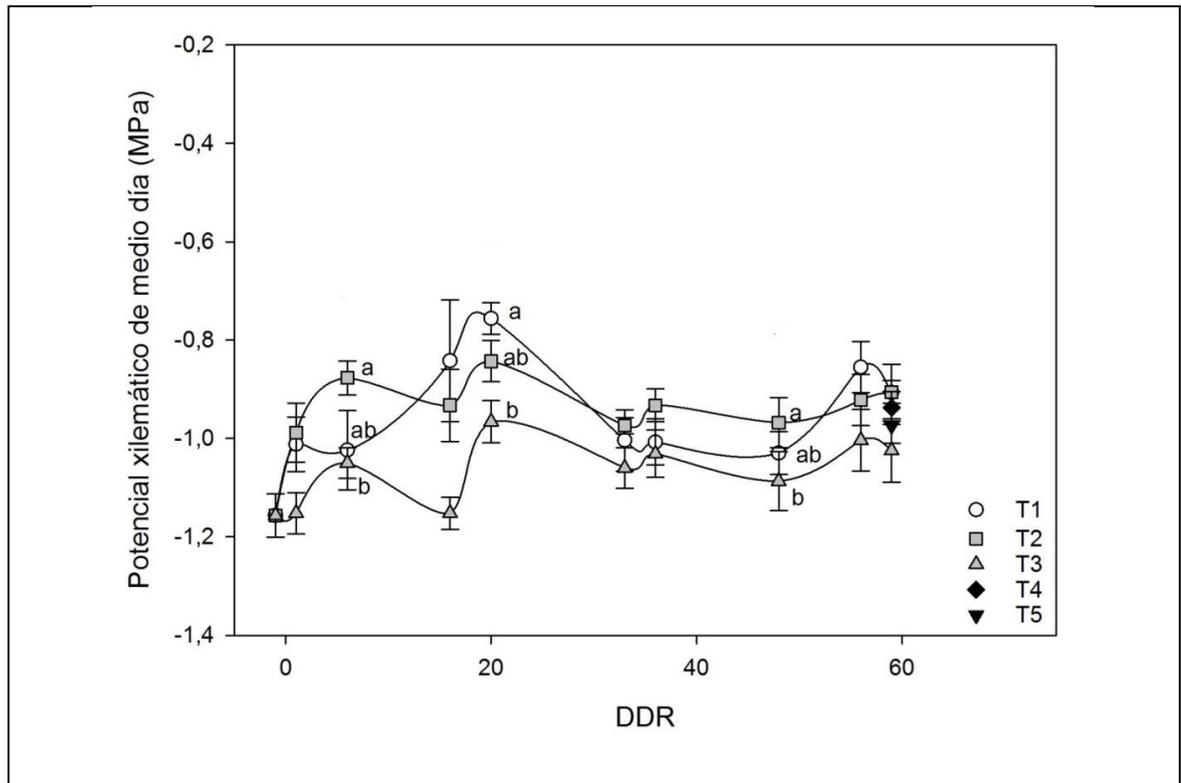


Figura 2. Valores promedio de ψ_x a medio día para la variedad Carménère, a lo largo de la temporada. Las letras minúsculas señalan diferencias significativas entre tratamientos ($p < 0.05$). Barras de error indican error estándar (SE).

Cabernet Sauvignon

En el caso de Cabernet Sauvignon (Figura 3), se apreciaron diferencias significativas en los valores de ψ_x a los 7 DDR, 21 DDR, 33 DDR y 49 DDR, entre los tratamientos T1 y T3. A los 7 DDR, 33 DDR y 49 DDR se aprecia que las plantas T2 no presentan diferencias significativas con T1 y T3, mientras que a los 21 DDR, las plantas de Carménère correspondientes al T2 alcanzaron ψ_x significativamente superiores al T3. Los valores promedio en la temporada oscilan entre los -0,7 MPa y los -1,3 MPa.

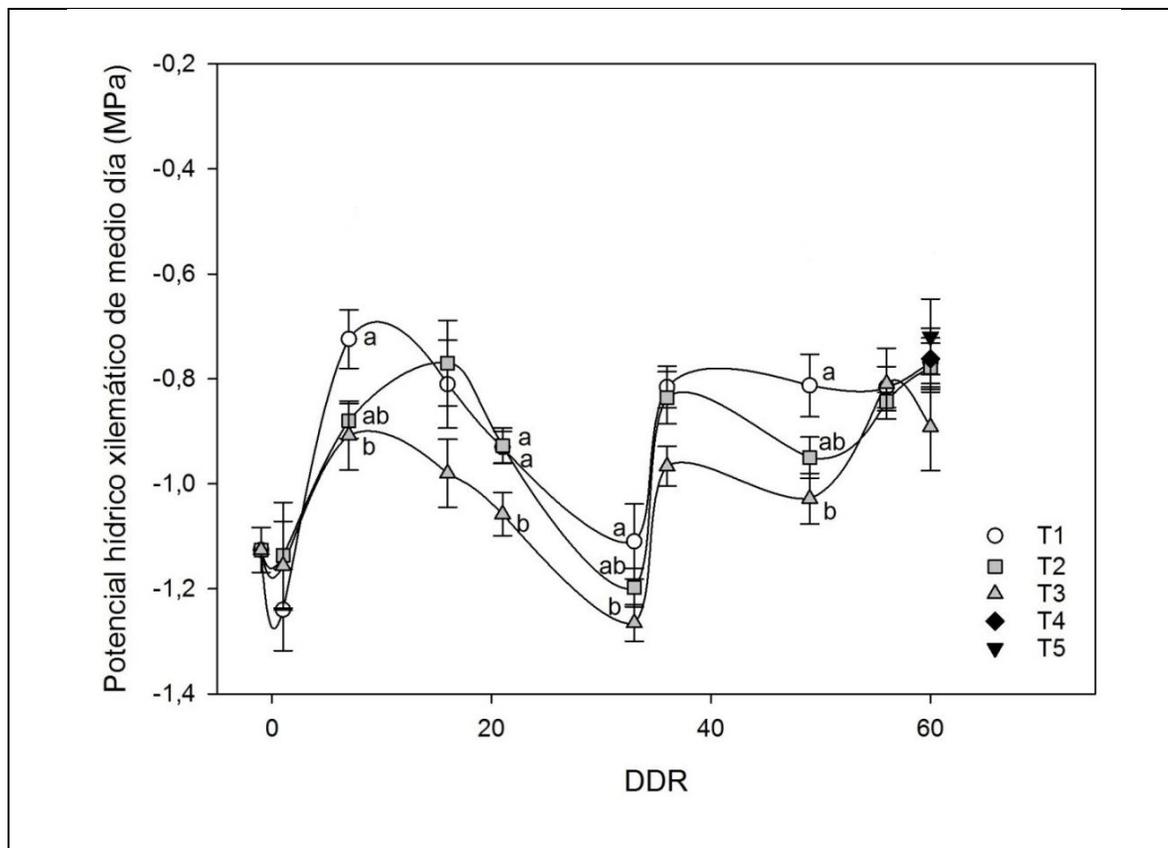


Figura 3. Valores promedio de ψ_x a medio día para la variedad Cabernet Sauvignon, a lo largo de la temporada. Las letras minúsculas señalan diferencias significativas ($p < 0.05$). Barras de error indican error estándar (SE).

Syrah

Al comienzo de la temporada de medición las plantas de Syrah alcanzaron un ψ_x en promedio de -1.3 MPa, luego los valores de ψ_x aumentan a valores de ψ_x de entre los -0,7 y -1,1 MPa. Al final del ensayo se observó un aumento en los potenciales hídricos xilemáticos, valores de entre -0,7 y -0,5 MPa (Figura 4).

En esta variedad se observaron diferencias estadísticamente significativas del ψ_x en tres ocasiones a lo largo de la temporada, correspondientes a los 33, 36 y 56 DDR. A los 33 y 56 DDR, los tratamientos T1 y T3 tuvieron diferencias estadísticamente significativas, con valores de ψ_x mayores en T1. Por otro lado, a los 36 DDR, no se observaron diferencias significativas en el ψ_x entre los tratamientos T1 y T2, pero ambos alcanzaron valores significativamente superiores a T3.

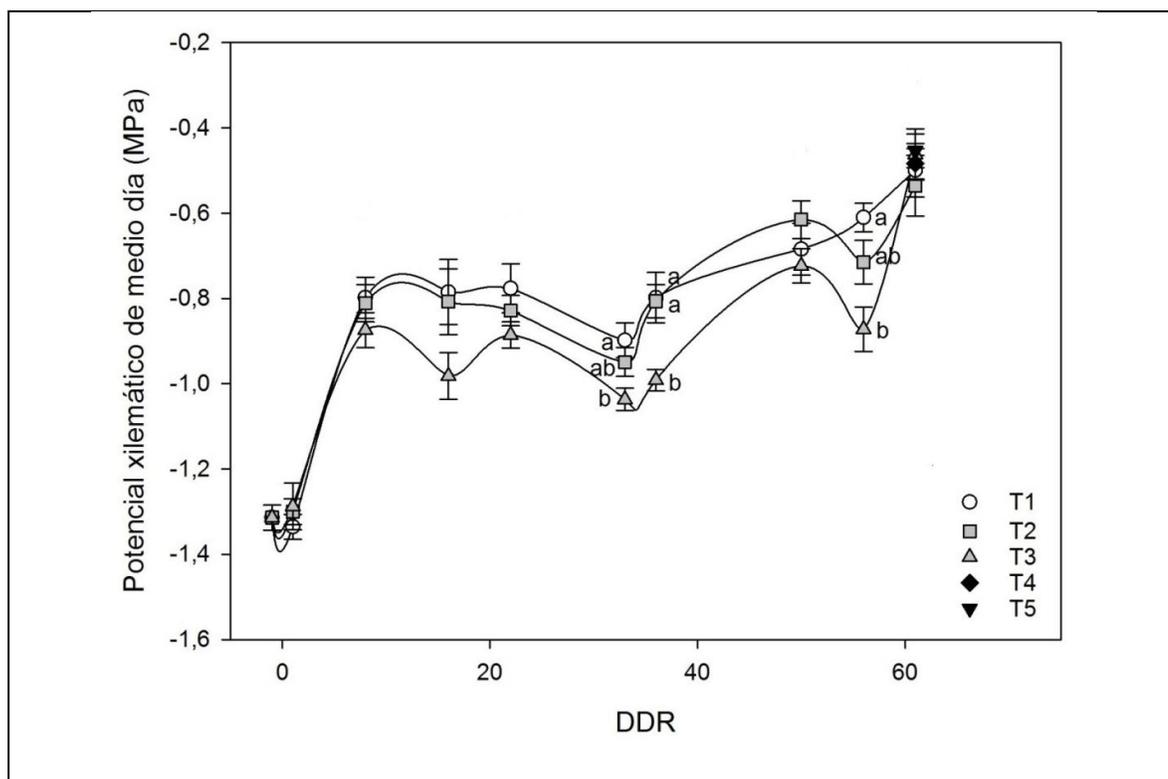


Figura 4. Valores promedio de ψ_x a medio día para la variedad Syrah, a lo largo de la temporada. Las letras minúsculas señalan diferencias significativas ($p < 0.05$). Barras de error indican error estándar (SE).

Potencial hídrico de Prealba (Ψ_{pd})

Carménère

Al comienzo del periodo de estudio y hasta los 29 DDR los valores de potencial alcanzaron valores de -0,4 MPa aproximadamente. Luego, hasta finalizar la temporada de estudio los valores de potencial aumentaron a valores de entre los -0.35 MPa a -0,2 MPa.

En la Figura 8, se observó que para los valores de ψ_{pd} en la variedad Carménère hubo diferencias significativas entre tratamientos, específicamente a los 58 y 71 DDR. A los 58 DDR el tratamiento T1 y T2 tienen diferencias significativas con el tratamiento T3. Al finalizar el ensayo, a los 71 DDR, se observan diferencias significativas entre los tratamientos T1 y T2 respecto a T3, mientras que los tratamientos con recuperación de riego, T4 y T5, no alcanzaron diferencias significativas con el resto de los tratamientos de riego (Figura 5).

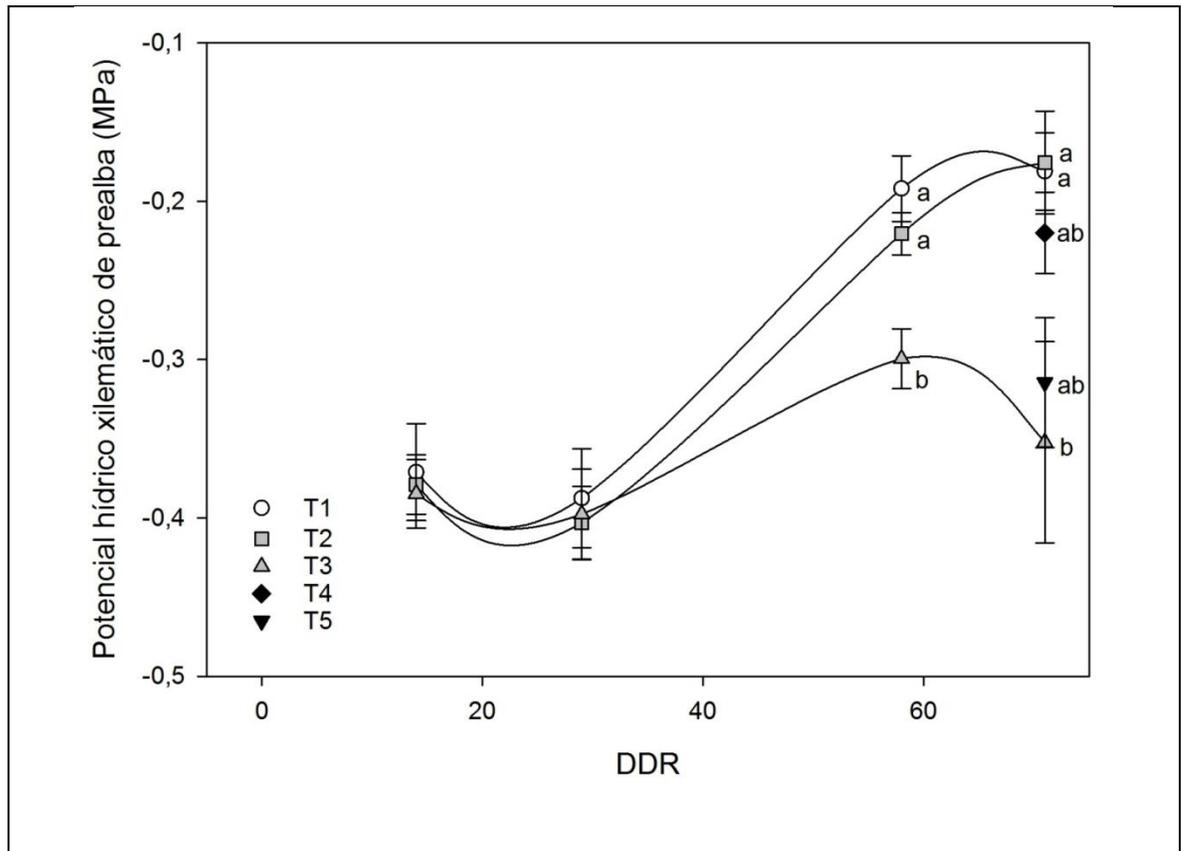


Figura 5. Valores promedio de ψ_{pd} para la variedad Carménère, a lo largo de la temporada. Las letras minúsculas señalan diferencias significativas ($p < 0.05$). Barras de error indican el error estándar (SE).

Cabernet Sauvignon

En la Figura 6 se aprecia la evolución de los ψ_{pd} a lo largo de la temporada en la variedad Cabernet Sauvignon, con variaciones de potencial de $-0,2$ a $-0,45$ MPa. Desde un inicio, y hasta los 58 DDR no se observaron diferencias estadísticamente significativas entre los tratamientos de riego. Sin embargo, hacia el final de la temporada, a los 71 DDR, el tratamiento T1 alcanzó valores de ψ_{pd} significativamente superiores con respecto a T3 y T5, donde el tratamiento T3 alcanza valores más negativos. En esta misma fecha los tratamientos T4 Y T5 correspondientes a los tratamientos con reposición de riego en las plantas T2 y T3, respectivamente, no presentan diferencias significativas entre ellos.

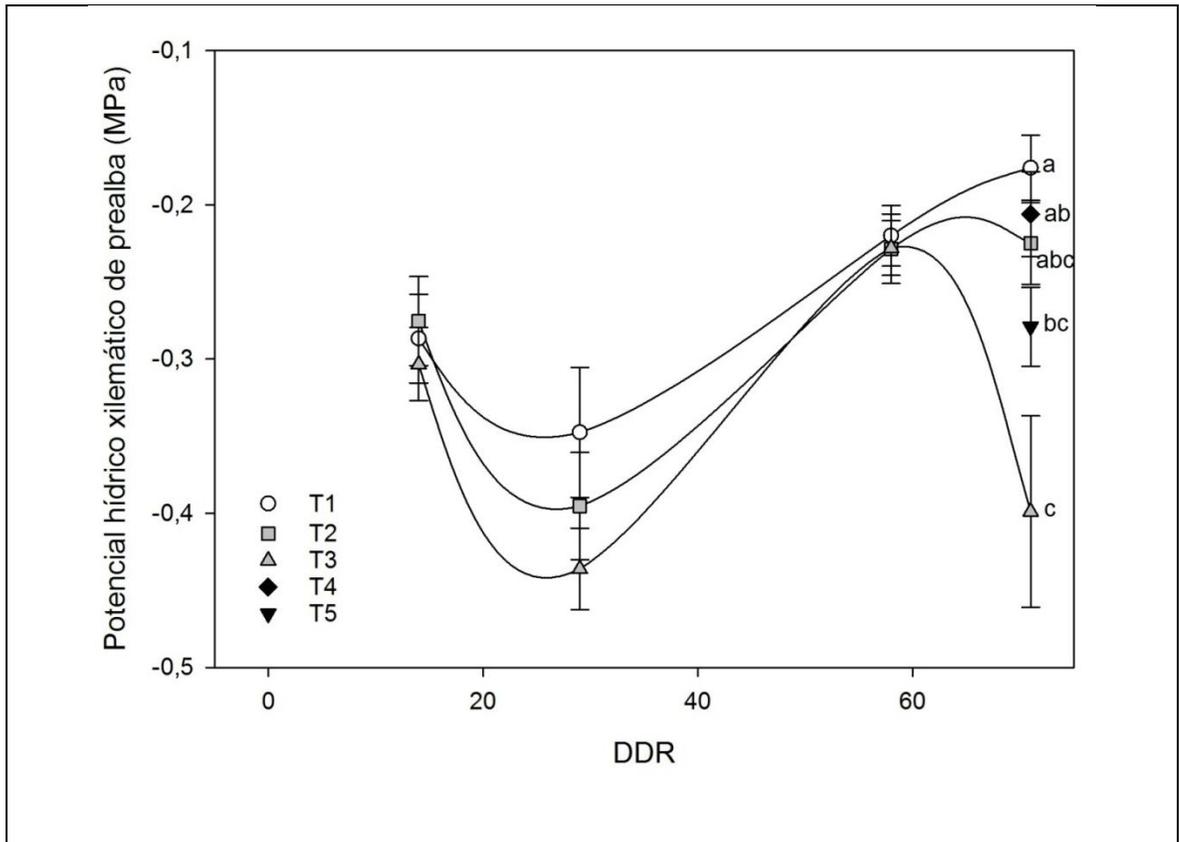


Figura 6. Valores promedio de ψ_{pd} para la variedad Cabernet Sauvignon, a lo largo de la temporada. Las letras minúsculas señalan diferencias significativas ($p < 0.05$). Barras de error indican error estándar (SE).

Syrah

En este caso, para la variedad Syrah se observó en general que los valores de ψ_{pd} a través de la temporada aumentaron gradualmente desde los 29 DDR y hacia el final de la temporada de estudio, con variaciones de entre -0,35 a -0,15 MPa en promedio. (Figura 7)

Durante la temporada no se observaron diferencias significativas entre los tratamientos para ninguna de las fechas de medición, en los niveles de ψ_{pd} .

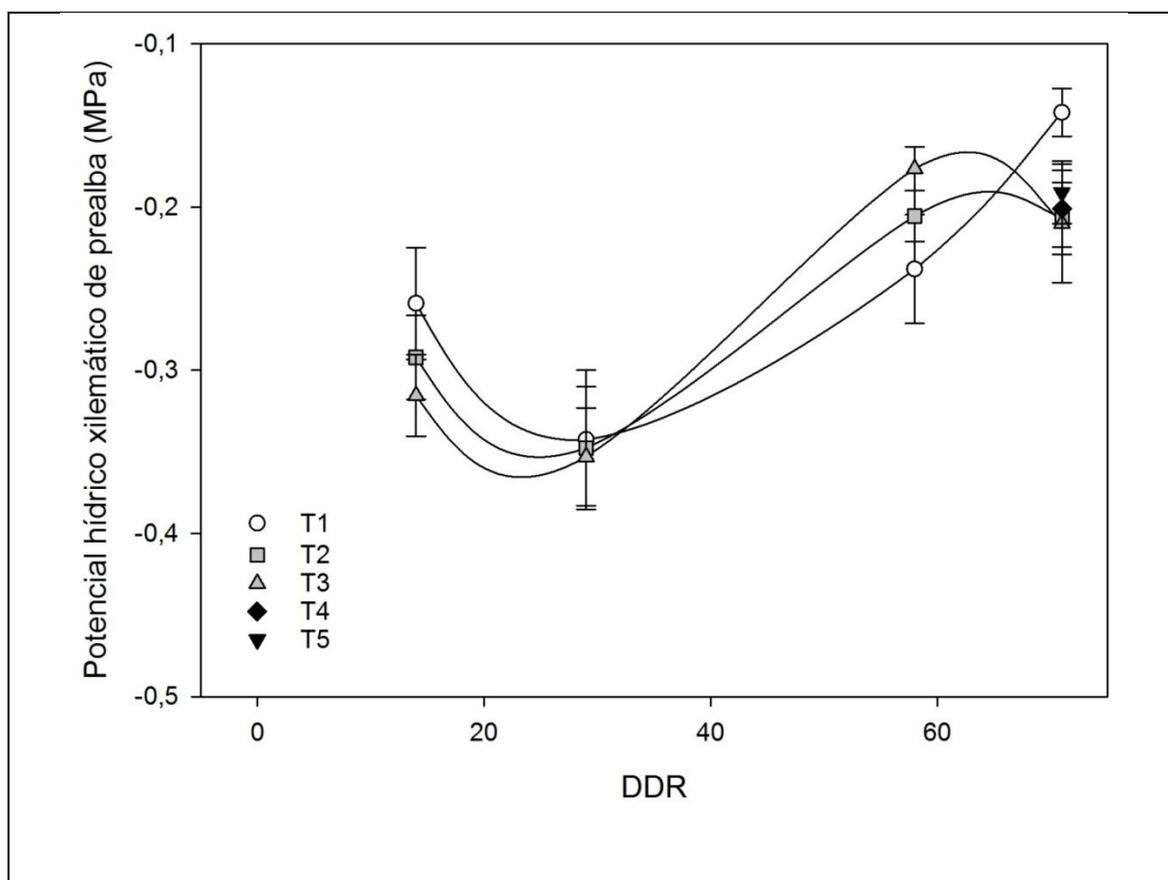


Figura 7. Valores promedio de ψ_{pd} para la variedad Syrah, a lo largo de la temporada. Las letras minúsculas señalan diferencias significativas ($p < 0.05$). Barras de error indican error estándar (SE).

RADIACIÓN PAR

En los ensayos de Carménère (Figura 8) y Cabernet Sauvignon (Figura 9), las espalderas tuvieron orientación Este – Oeste, que resultó en diferencias características en la distribución de la radiación en cada lado, siendo la exposición Norte la que alcanzó los valores más altos de radiación durante el día. El lado de exposición Sur mantuvo una incidencia de la luz relativamente constante a través del día, no obstante se presentan ligeros aumentos finalizando el día en las primeras fechas de medición.

Por otro lado, la variedad Syrah (Figura 10) se encuentra con una orientación Norte – Sur lo que determinó una mejor distribución de la radiación entre ambos lados de la espaldera con una mayor luminosidad en el lado Este durante la mañana y en la tarde en el lado Oeste.

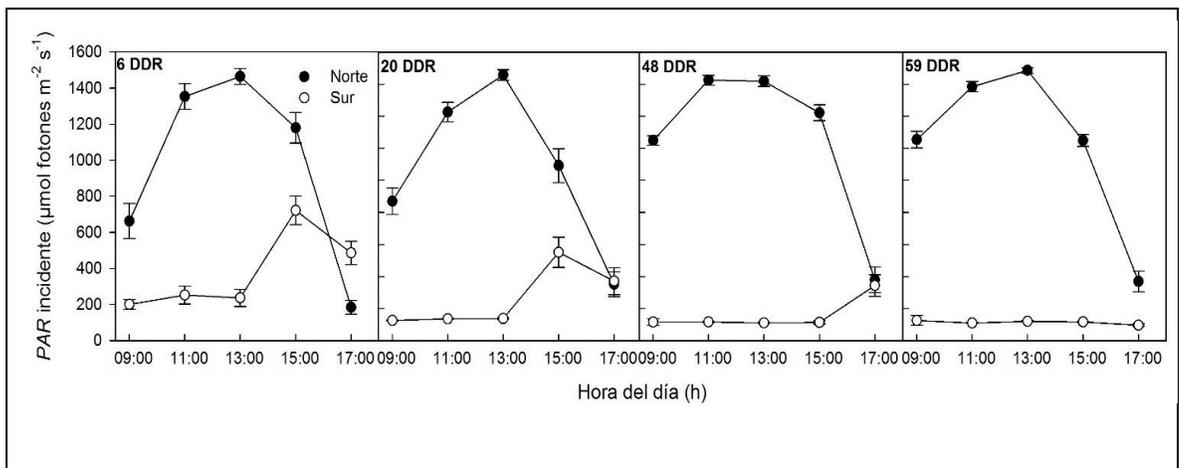


Figura 8. Variación de la radiación PAR incidente en la variedad Carménère, durante las 4 fechas de medición, a lo largo del día. Las barras de error indican error estándar (SE).

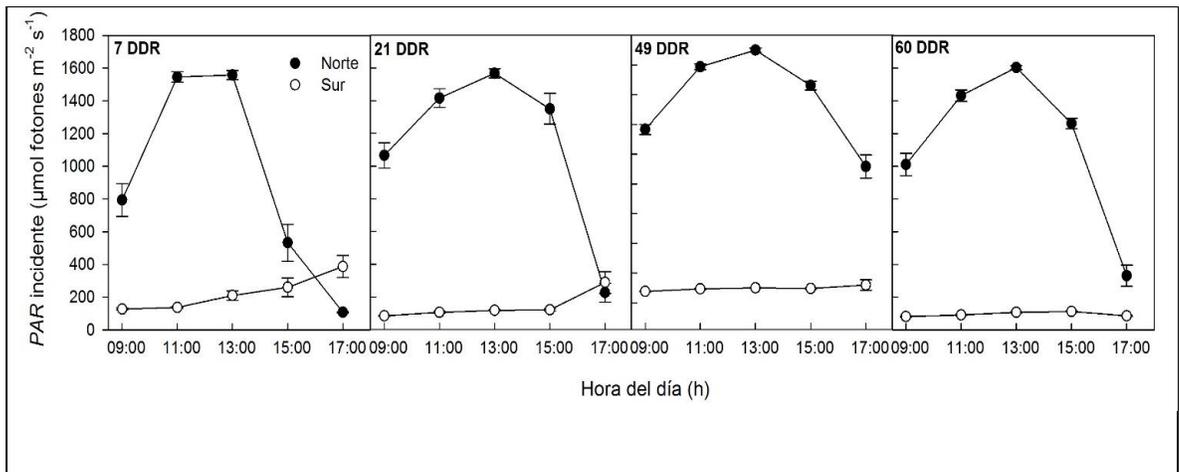


Figura 9. Variación de la radiación PAR incidente en la variedad Cabernet Sauvignon, durante las 4 fechas de medición, a lo largo del día. Las barras de error indican error estándar (SE).

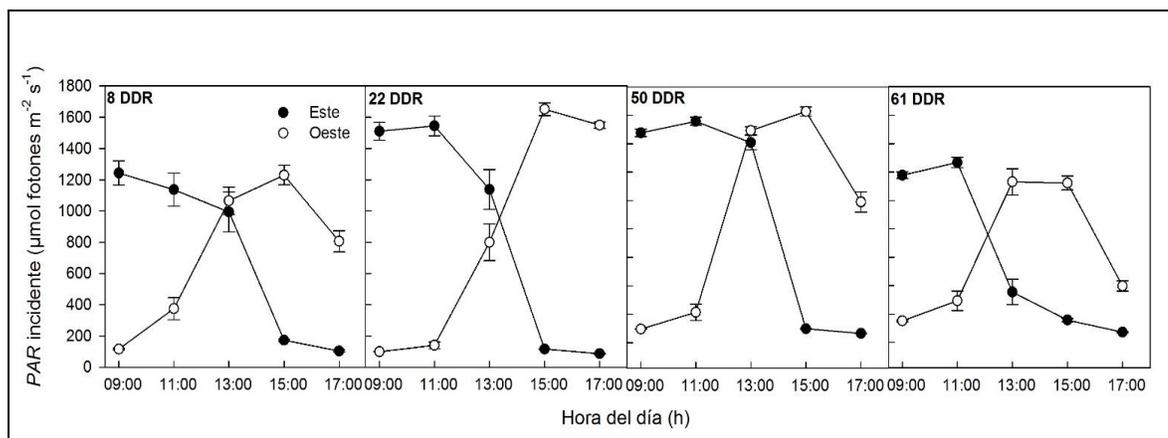


Figura 10. Variación de la radiación PAR incidente en la variedad Syrah, durante las 4 fechas de medición, a lo largo del día. Las barras de error indican error estándar (SE).

VARIABLES FOTOSINTÉTICAS

Asimilación neta (A_n)

Carménère

En la figura 11 se observan los valores promedio de asimilación neta y su variación a lo largo del día; mientras que en la figura 12 se observan los valores de asimilación neta diaria. En ambas figuras (Figura 11 y 12) se aprecia que, en general, las tasas máximas de asimilación fotosintética (A_n) ocurrieron en el lado Norte de la espaldera, con niveles dos a tres veces superior con respecto al lado Sur. Además en el lado Norte se presentan, más frecuentemente, las diferencias estadísticamente significativas entre tratamientos. Por otro lado, se observó una disminución gradual en los valores de asimilación hacia la última fecha de medición, las cuales fueron especialmente notorias en las hojas del lado Norte de la espaldera.

En el lado norte, a los 6 DDR sólo se observaron diferencias estadísticamente significativas entre las plantas, T1, con respecto a las plantas de T2 y T3, ocurriendo a media mañana. A los 20 DDR y 48 DDR en tanto, aparecieron diferencias significativas en los niveles de A_n , desde media mañana hasta medio día, y temprano en la mañana hasta medio día, respectivamente; en ambos casos, las mayores tasas fotosintéticas ocurrieron en T1 y las menores en T3, con T2 alcanzando valores intermedios. Finalmente, a los 59 DDR, en el lado Norte de la espaldera los tratamientos T4 y T5, los cuales se rehidrataron con riegos al 90% de la ETc, alcanzaron valores intermedios entre T1 y T3, pero sin diferencias significativas entre estos. (Figura 11)

En el lado Sur de la espaldera, por otra parte, la tasa de asimilación de CO_2 no sobrepasó los $5 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2}\text{s}^{-1}$, observando diferencias estadísticamente significativas, solamente a los 48 DDR, en general, con valores elevados en el tratamiento T1, de mayor riego.

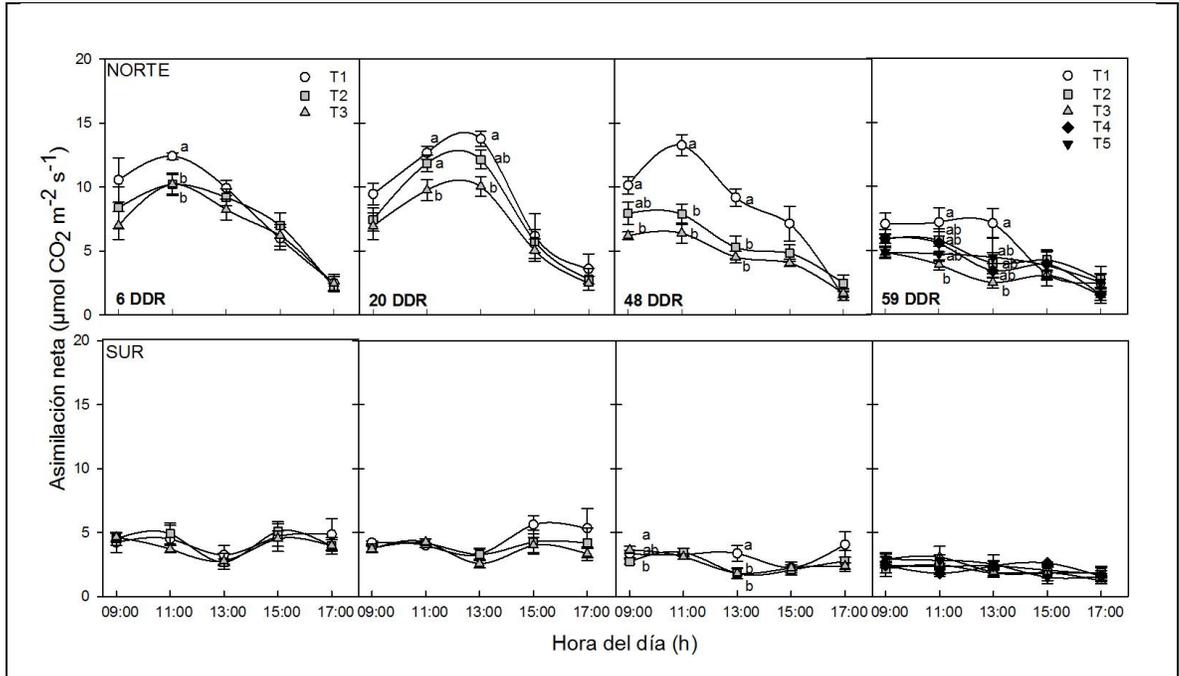


Figura 11. Valores promedio de la variación de la tasa fotosintética (A_n) para la variedad Carménère a lo largo de la temporada, medida 5 veces al día en ambos lados de la espaldera. Las letras minúsculas señalan diferencias significativas ($p < 0.05$). Barras de error indican error estándar (SE).

En la figura 12 se observan los valores de asimilación neta diaria a través de la temporada. En el lado Norte, a los 6 DDR los valores de A_n alcanzan los $250 \text{ mmol CO}_2 \text{ m}^{-2}$, mientras que al finalizar el estudio, a los 59 DDR, se aprecian valores entre el rango de los 100 a $150 \text{ mmol CO}_2 \text{ m}^{-2}$. En el lado Sur de la espaldera, los valores promedio de A_n al inicio de la temporada son cercanos a los $100 \text{ mmol CO}_2 \text{ m}^{-2}$, mientras que al fin de la temporada los valores alcanzan los $50 \text{ mmol CO}_2 \text{ m}^{-2}$.

Se observan diferencias estadísticamente significativas en el lado Norte de la espaldera desde los 20 DDR hasta el final de la temporada. El tratamiento T1, de mayor riego, a los 20 y 48 DDR alcanzó diferencias significativas con respecto a los tratamientos T2 y T3. Finalmente a los 59 DDR, se observan diferencias sólo entre los tratamientos T1 y T3, mientras que los tratamientos de reposición, T4 y T5, no alcanzan diferencias significativas con el resto de los tratamientos de riego.

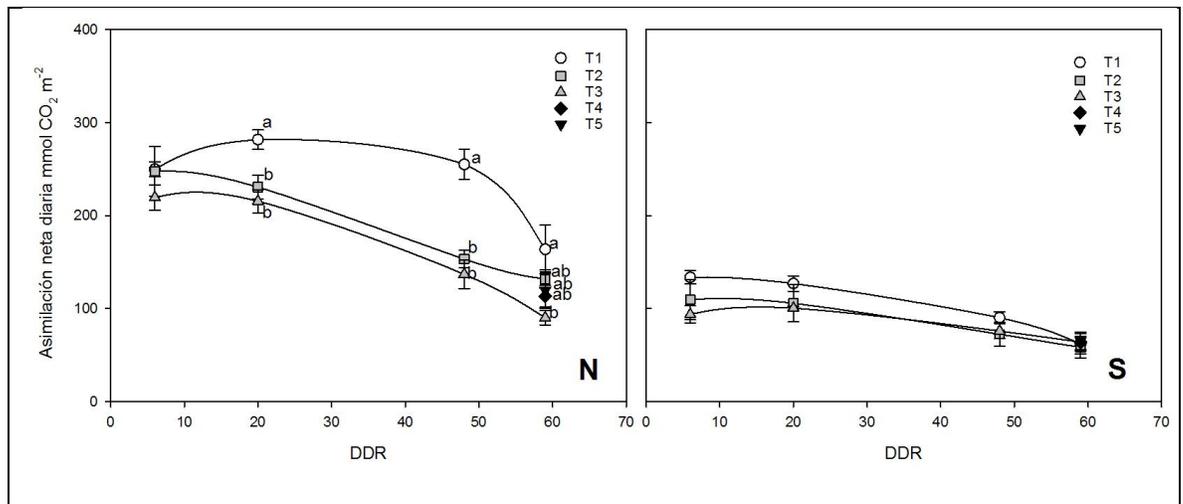


Figura 12. Valores de la variación de la asimilación neta diaria a través de la temporada para la variedad Carmènère a lo largo de la temporada, se utilizó el método del trapecio para alcanzar un valor diario por cada fecha de medición. Las letras minúsculas señalan diferencias significativas ($p < 0.05$). Barras de error indican error estándar (SE).

Cabernet Sauvignon

En la figura 13 se aprecia la variación de los valores promedio de A_n a lo largo del día en cada fecha de medición. Por otro lado, la figura 14 corresponde a la asimilación neta diaria a lo largo de la temporada; en ambas figuras se aprecia que los valores de asimilación, en el lado Norte, son hasta tres veces superiores con respecto al lado Sur, esto debido a la orientación Este – Oeste de las espalderas, donde el lado Norte fue el más iluminado.

Los valores de asimilación neta, fluctuaron entre los $15 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2}\text{s}^{-1}$ y $2 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2}\text{s}^{-1}$, en el lado norte de la espaldera, mientras que en el lado sur presenta valores menos variables, entre 4 a $5 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2}\text{s}^{-1}$ durante toda la temporada.

En la figura 13 se observa que la tasa de asimilación de CO_2 fue disminuyendo desde los 49 DDR hacia el final de la temporada. A los 7 DDR, sólo se observaron diferencias significativas a primera hora de la mañana en el lado norte de la espaldera, entre los tratamientos T1 y T3, mientras que T2 no posee diferencias significativas con ninguno de los tratamientos. Luego, a los 21 DDR, también se observaron diferencias significativas entre los mismos tratamientos, nuevamente en el lado Norte de la espaldera, las cuales ocurren prácticamente todo el día. A los 49 DDR se observaron diferencias en ambos lados de la espaldera entre los tratamientos T1 y T3, en el lado Norte de la espaldera se observaron diferencias durante todo el día, mientras que en el lado Sur sólo en dos ocasiones, temprano en la mañana y a media tarde. A los 60 DDR, se apreció diferencias significativas, nuevamente, sólo en el lado Norte; los tratamientos T1 y T3 son significativamente diferentes después del mediodía. Los tratamientos de reposición de riego (T4 y T5) alcanzaron diferencias significativas con respecto al tratamiento T3 a medio día solar.

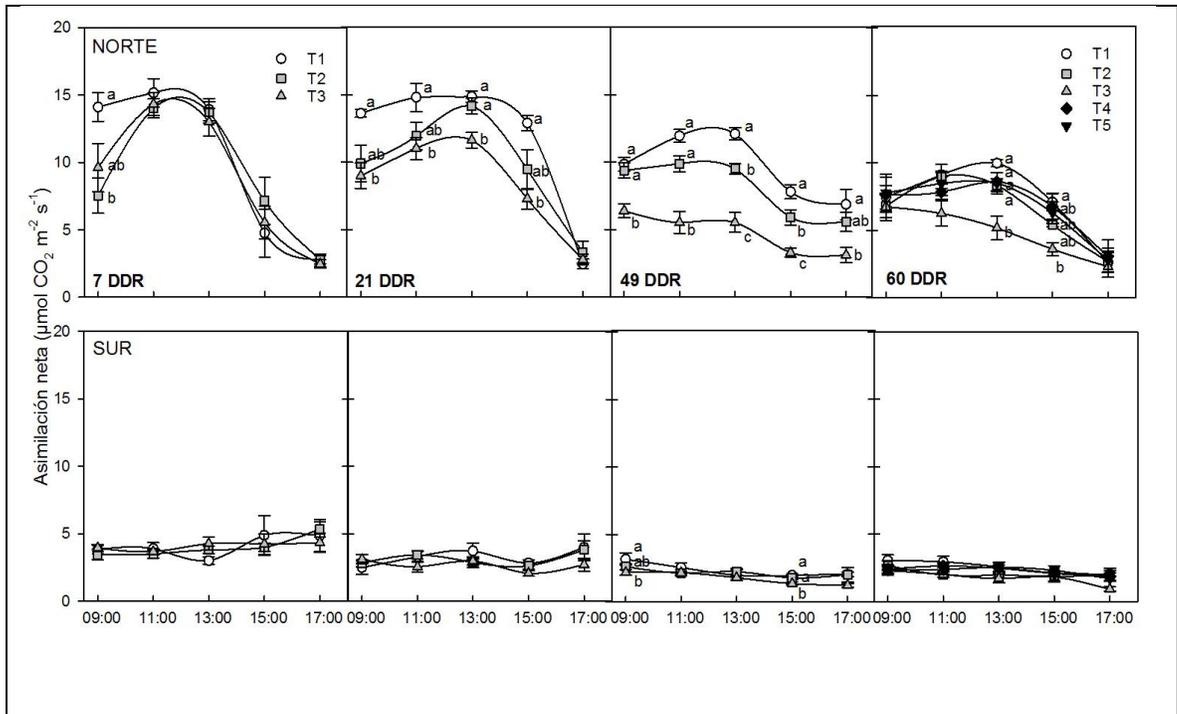


Figura 13. Valores promedio de la variación de la tasa fotosintética (A_n) para la variedad Cabernet Sauvignon a lo largo de la temporada, medida 5 veces al día en ambos lados de la espaldera. Las letras minúsculas señalan diferencias significativas ($p < 0.05$). Barras de error indican error estándar (SE).

En la figura 14, se observa que en general los valores de asimilación neta diaria, en el lado Norte de la espaldera, alcanzaron niveles de 300 a 350 $\text{mmol CO}_2 \text{ m}^{-2}$, al inicio de la temporada, sin embargo estos van disminuyendo gradualmente hacia el final de la temporada, cuando los valores se reducen la mitad. Por otro lado en el lado Sur de la espaldera se mantuvieron valores entre los 50 a 100 $\text{mmol CO}_2 \text{ m}^{-2}$, a lo largo de la temporada.

Sólo el lado Norte presenta diferencias estadísticamente significativas, específicamente desde los 21 DDR hacia el final de la temporada. En las mediciones de los 21 DDR y 49 DDR, se observó que los tres tratamientos se diferencian entre sí. Finalmente en la última fecha de medición, a los 60 DDR, los tratamientos T1 y T2, además de los tratamientos de reposición, T4 y T5, se diferenciaron con respecto al tratamiento T3.

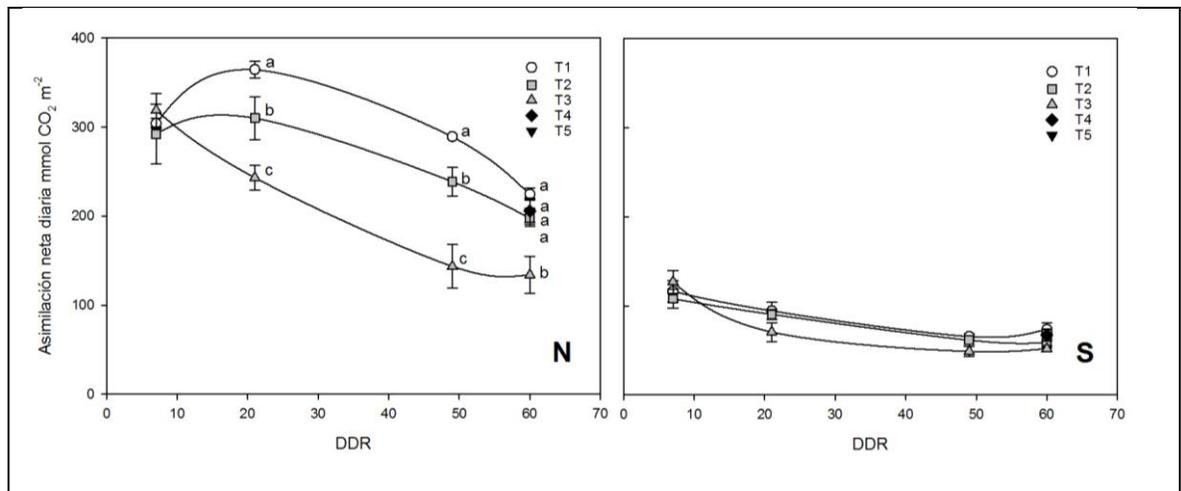


Figura 14. Valores de la variación de la asimilación neta diaria a través de la temporada para la variedad Cabernet Sauvignon a lo largo de la temporada, se utilizó el método del trapecio para alcanzar un valor diario por cada fecha de medición. Las letras minúsculas señalan diferencias significativas ($p < 0.05$). Barras de error indican error estándar (SE).

Syrah

La variedad Syrah tiene una orientación Norte-Sur la cual resulta en una iluminación similar en ambos lados de la espaldera, pero en distintos momentos del día.

En la figura 15 se aprecia que el lado Este de la espaldera obtuvo valores de asimilación neta superiores en la mañana, cercanos a los $12 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2}\text{s}^{-1}$, disminuyendo al medio día. En el caso del lado Oeste alcanzó valores menores en la mañana, del orden de los $2 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2}\text{s}^{-1}$ aumentando luego de las 13:00 horas. Los valores de asimilación se mantienen constantes durante la temporada y sólo se observa una ligera disminución en la última medición.

En el lado Este, las tasas máximas de asimilación se aprecian temprano en la mañana, mientras que en el lado Oeste las tasas máximas se generan después del mediodía solar. A su vez se observó que existieron diferencias estadísticamente significativas en ambos lados de la espaldera principalmente entre los tratamientos T1 y T3, en todas las fechas de medición y, donde el tratamiento con mayor estrés hídrico presentó valores menores en asimilación. Además, a los 8 DDR y 50 DDR se observan diferencias significativas en ambos lados de la espaldera; a los 22 DDR sólo se observan en el lado Oeste, mientras que a los 61 DDR sólo en el lado Oeste

Por último, en la última medición a los 61 DDR, se observó que los tratamientos T4 y T5 sólo presentaron diferencias significativas en el lado Oeste de la espaldera, los cuales presentan valores superiores con respecto al tratamiento con mayor estrés hídrico, T3.

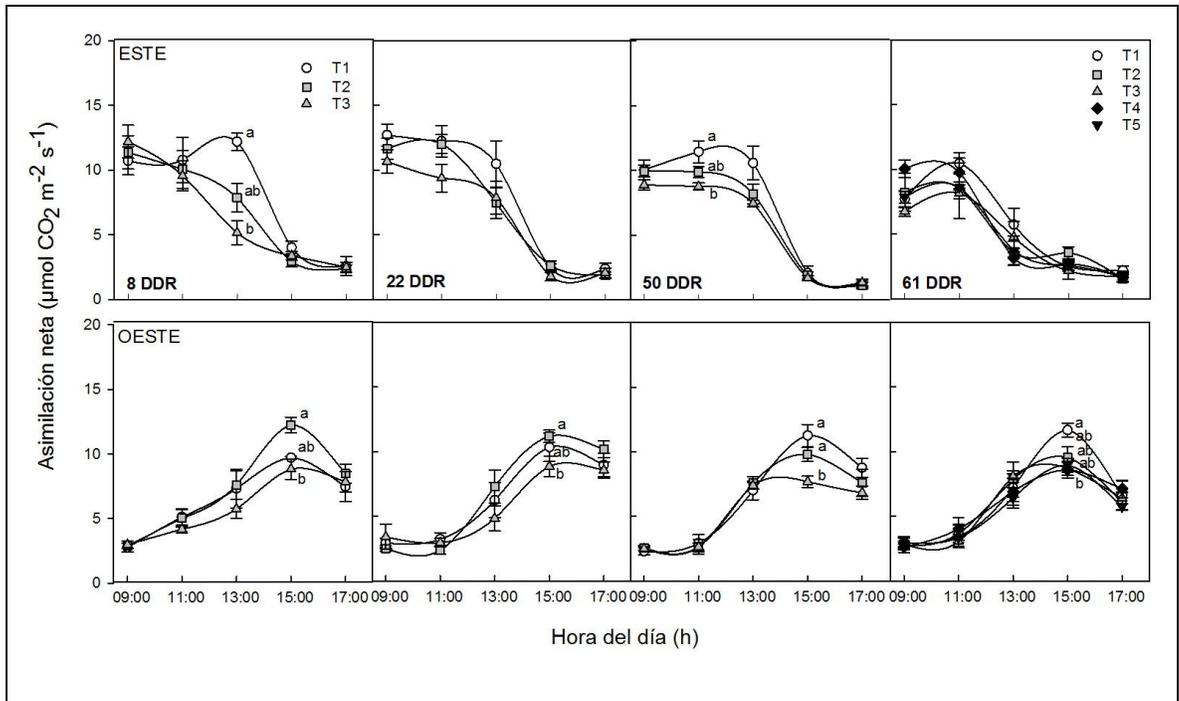


Figura 15. Valores promedio de la variación de la tasa fotosintética (A_n) para la variedad Syrah a lo largo de la temporada, medida 5 veces al día en ambos lados de la espaldera. Las letras minúsculas señalan diferencias significativas ($p < 0.05$). Barras de error indican error estándar (SE).

La figura 16 presenta los valores de asimilación neta diaria. En general, para ambos lados de la espaldera, se observan valores de asimilación del rango de los 150 a 250 $\text{mmol CO}_2 \text{ m}^{-2}$, los cuales se mantienen sin variación a lo largo de la temporada. En el lado Este de la espaldera se aprecia una ligera disminución al fin de la temporada, a los 61 DDR.

Por último, y en general, se puede apreciar que no existen diferencias estadísticamente significativas entre tratamientos. Sin embargo, a los 50 DDR se observa que los tratamientos T1 y T3 presentan diferencias entre sí, mientras que T2 alcanza un valor intermedio.

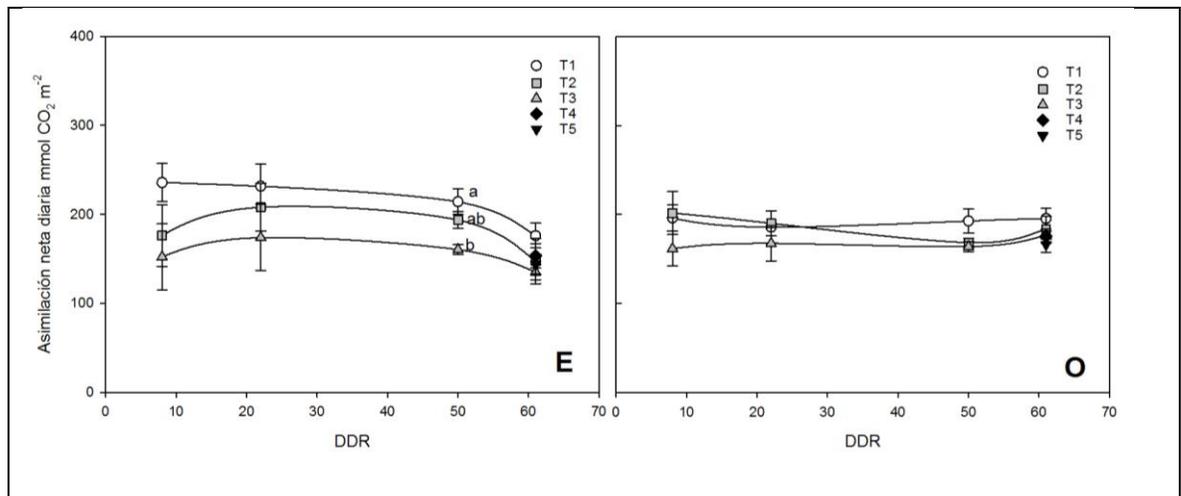


Figura 16. Valores de la variación de la asimilación neta diaria a través de la temporada para la variedad Syrah a lo largo de la temporada, se utilizó el método del trapecio para alcanzar un valor diario por cada fecha de medición. Las letras minúsculas señalan diferencias significativas ($p < 0.05$). Barras de error indican SE.

Transpiración (E)

Carménère

La figura 17 presenta las cuatro mediciones de transpiración realizadas en plantas de Carménère, sometidos a los distintos tratamientos de riego, donde los máximos valores ocurrieron en el lado Norte de la espaldera con respecto al lado Sur. En ambos lados de la espaldera, a los 6 DDR y 20 DDR se observó que los valores de transpiración mantienen una tendencia similar aumentando a medio día en el lado Norte, pero muy bajo a lo largo del día en el lado Sur. Desde los 48 DDR los valores de transpiración van disminuyendo hacia el final de la temporada de estudio. El lado Norte de la espaldera alcanza valores entre los 2 $\text{mmol H}_2\text{O m}^{-2}\text{s}^{-1}$ a 5,8 $\text{mmol H}_2\text{O m}^{-2}\text{s}^{-1}$ al inicio, mientras que al final de la temporada los valores disminuyen a niveles de entre 1,5 $\text{mmol H}_2\text{O m}^{-2}\text{s}^{-1}$ a 3,5 $\text{mmol H}_2\text{O m}^{-2}\text{s}^{-1}$. El lado Sur de la espaldera mantiene bajos niveles de transpiración cercanos a los 2 $\text{mmol H}_2\text{O m}^{-2}\text{s}^{-1}$, en promedio.

En esta variedad, sólo se observan diferencias estadísticamente significativas en el lado Norte de la espaldera, donde el tratamiento T1 alcanza valores significativamente mayores con respecto a T3 en todas las fechas de medición. En el lado Norte, a los 6 DDR se observan diferencias significativas a media mañana, donde el tratamiento T2 se diferencia con las plantas T1. A los 21 DDR y 49 DDR se observan diferencias significativas, entre los tratamientos T1 y T3, desde temprano en la mañana hasta el mediodía, donde en general, el tratamiento T2 presenta valores intermedios. Finalmente al final de la temporada, a los 59 DDR, nuevamente se observan diferencias significativas entre los tratamientos T1 y T3, las cuales ocurren a media mañana hasta el mediodía. Los tratamientos de reposición de riego, T4 y T5, no presentan diferencias significativas con respecto a los demás tratamientos.

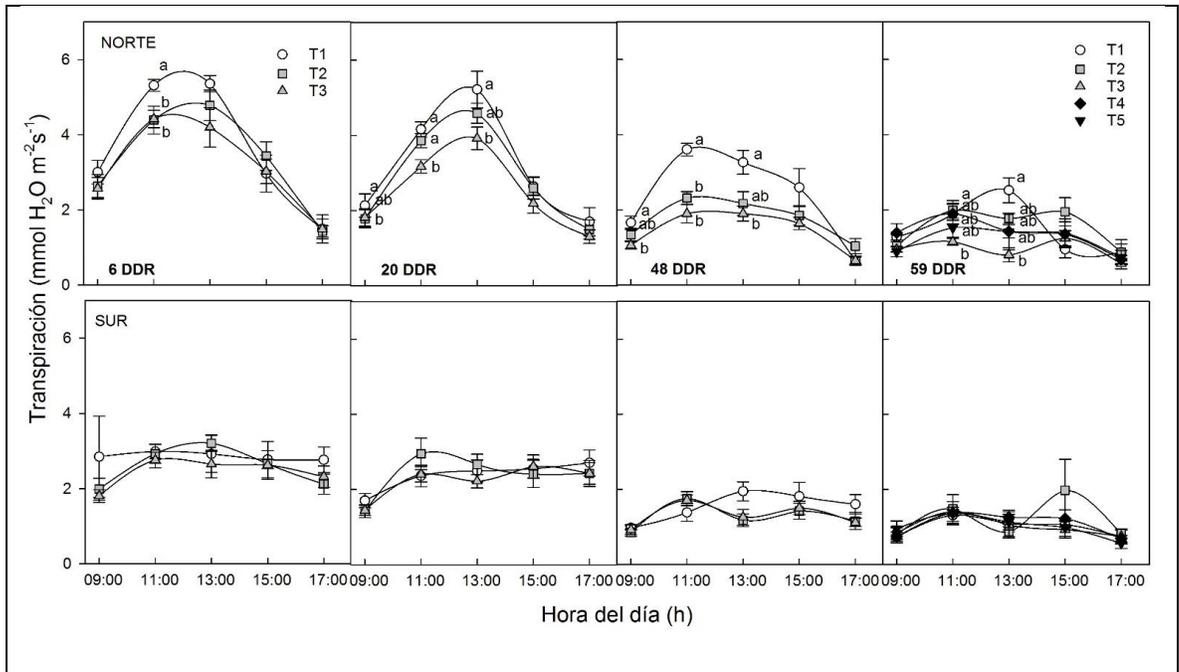


Figura 17. Valores promedio de la variación de transpiración (E) para la variedad Carménère a lo largo de la temporada, medida 5 veces al día en ambos lados de la espaldera. Las letras minúsculas señalan diferencias significativas ($p < 0.05$). Barras de error indican error estándar (SE).

En la figura 18 se observan los niveles de transpiración neta diaria en las plantas de Carménère, con valores máximos ligeramente superiores en el lado norte de la espaldera con respecto al lado Sur. Sin embargo, en ambos casos se observa que los valores de transpiración diaria disminuyen a medida que avanzan las fechas de medición. Sólo se aprecian diferencias significativas, en el lado Norte de la espaldera, entre los tratamientos T1 y T3. Se observaron desde los 20 DDR hasta el fin de la temporada, a los 59 DDR. Finalmente los tratamientos T4 y T5, no presentan diferencias estadísticamente significativas, alcanzando valores intermedios con los demás tratamientos.

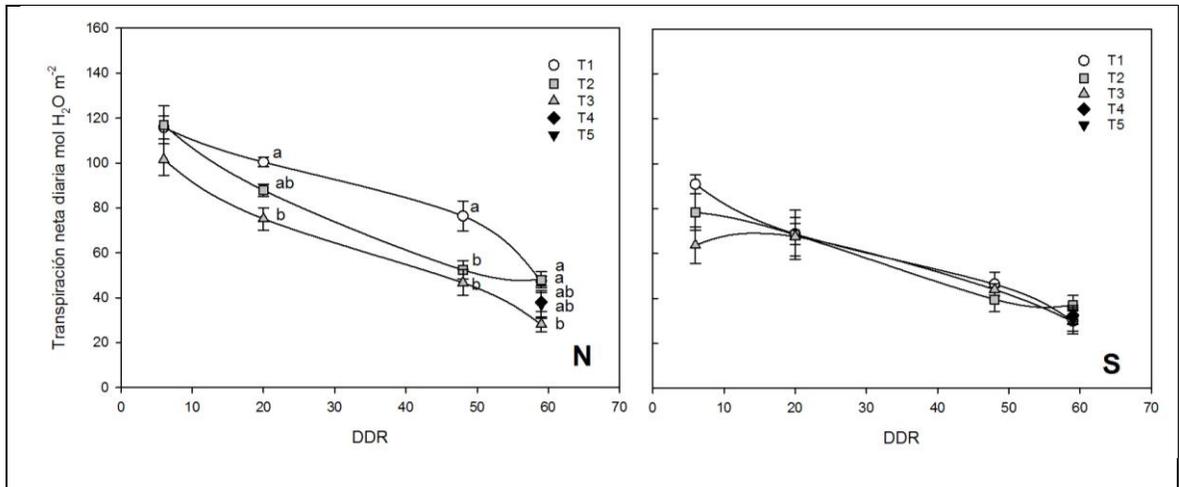


Figura 18. Valores diarios de los niveles de transpiración a través de la temporada para la variedad Carménère a lo largo de la temporada, se utilizó el método del trapecio para alcanzar un valor diario por cada fecha de medición. Las letras minúsculas señalan diferencias significativas ($p < 0.05$). Barras de error indican error estándar (SE).

Cabernet Sauvignon

Se presenta la variación de la transpiración a lo largo de la temporada en las plantas de la variedad Cabernet Sauvignon (Figura 19). La actividad transpiratoria es mayor en el lado Norte de la espaldera con respecto al lado Sur, observando una clara tendencia en las cuatro fechas de medición, en que el tratamiento con mayor descarga, T1, es el que presenta valores mayores de transpiración, con valores cercanos a los $5 \text{ mmol H}_2\text{O m}^{-2}\text{s}^{-1}$, valores doblemente superiores con respecto al tratamiento de menor riego, T3, que alcanza en promedio los $2.5 \text{ mmol H}_2\text{O m}^{-2}\text{s}^{-1}$.

Desde los 21 DDR hasta el final de la temporada de medición se aprecian diferencias significativas en ambos lados de la espaldera donde el tratamiento T1, por lo general, alcanza tasas de transpiración significativamente mayores con respecto al tratamiento con estrés severo, T3. El tratamiento T2 presenta valores cercanos al tratamiento T1. Sin embargo, en algunos casos se observan valores intermedios con respecto a los otros tratamientos.

A los 21 DDR, en el lado Norte se observan diferencias significativas entre los tratamientos T1 y T3, se presentan desde temprano en la mañana hasta media tarde; en el lado Sur se aprecian desde media mañana hasta la última medición, a las 17:00. A los 49 DDR, los distintos tratamientos se diferencian estadísticamente durante todo el día, nuevamente, entre los tratamientos de mayor riego, T1, y con riego restringido, T3. Sin embargo, a media tarde tanto en el lado Norte como en el lado Sur, los tratamientos T1, T2 y T3 presentan diferencias significativas entre ellos. Finalmente a los 60 DDR, también se aprecian diferencias significativas en ambos lados de la espaldera. En el lado Norte se presentan desde media mañana hasta medio día, mientras que en el lado Sur se observan desde las 11:00 hasta el final de la tarde. Los tratamientos rehidratados, T4 y T5, alcanzan valores intermedios entre T1 y T3, pero sin diferencias significativas entre los demás tratamientos.

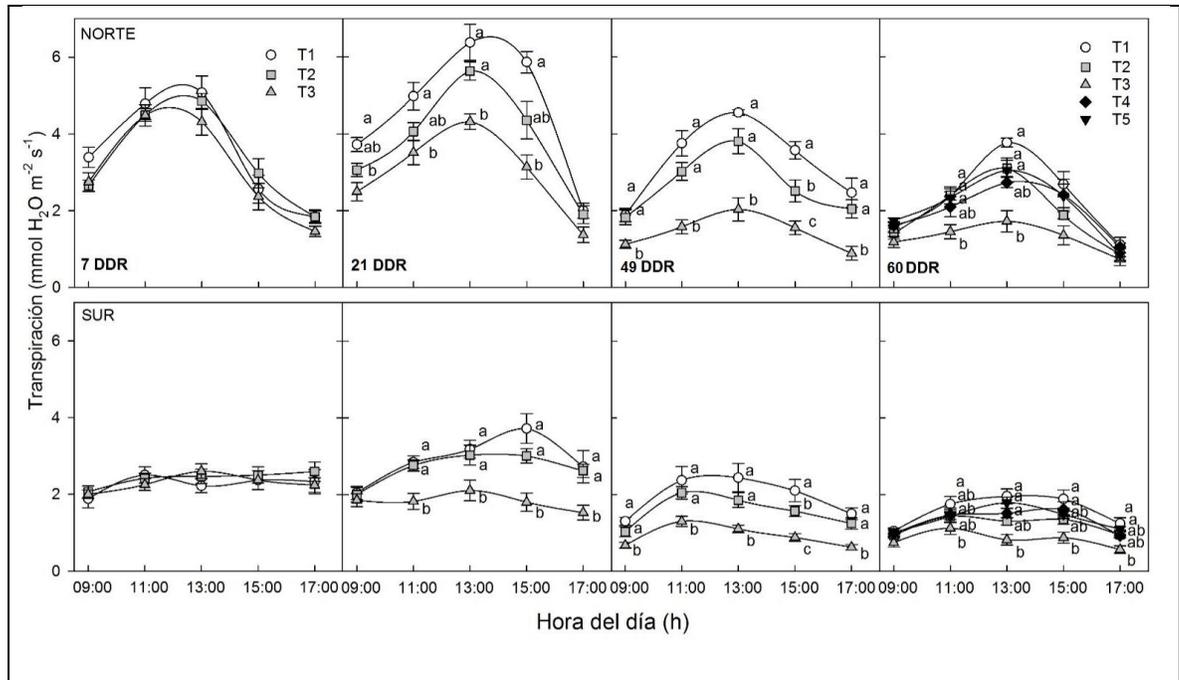


Figura 19. Variación de la transpiración (E) para la variedad Cabernet Sauvignon, esta es medida 5 veces al día en ambos lados de la espaldera. También se encuentran representadas las 4 fechas de medición de las variables fotosintéticas. Las letras minúsculas describen el análisis estadístico, donde letras distintas indican diferencias significativas entre los tratamientos, estas se analizaron bajo el test de Tukey ($p < 0.05$). Barras de error indican error estándar (SE).

En la figura 20, se aprecian los valores de transpiración neta diaria en las cuatro fechas de medición, donde, en general, el lado Norte de la espaldera alcanza valores superiores con respecto al lado Sur. Además se observa que en la medición de transpiración el tratamiento T1 alcanza valores dos a tres veces superiores con respecto al tratamiento T3.

Las diferencias estadísticamente significativas se observan en ambos lados de la espaldera, específicamente en la segunda y tercera fecha de medición, a los 21 y 49 DDR respectivamente. Para el caso del lado Norte, los tres tratamientos se diferencian entre sí; el lado Sur, en las mismas fechas de medición, se aprecia que sólo los tratamientos T1 y T2 alcanzan diferencias estadísticamente significativas con respecto a T3. Por último, a final de la temporada, a los 60 DDR, se observa que, los tratamientos T1 y T3 tienen diferencias entre ellos, mientras que los tratamientos T4 y T5 presentan valores intermedios, esto ocurre en ambos lados de la espaldera.

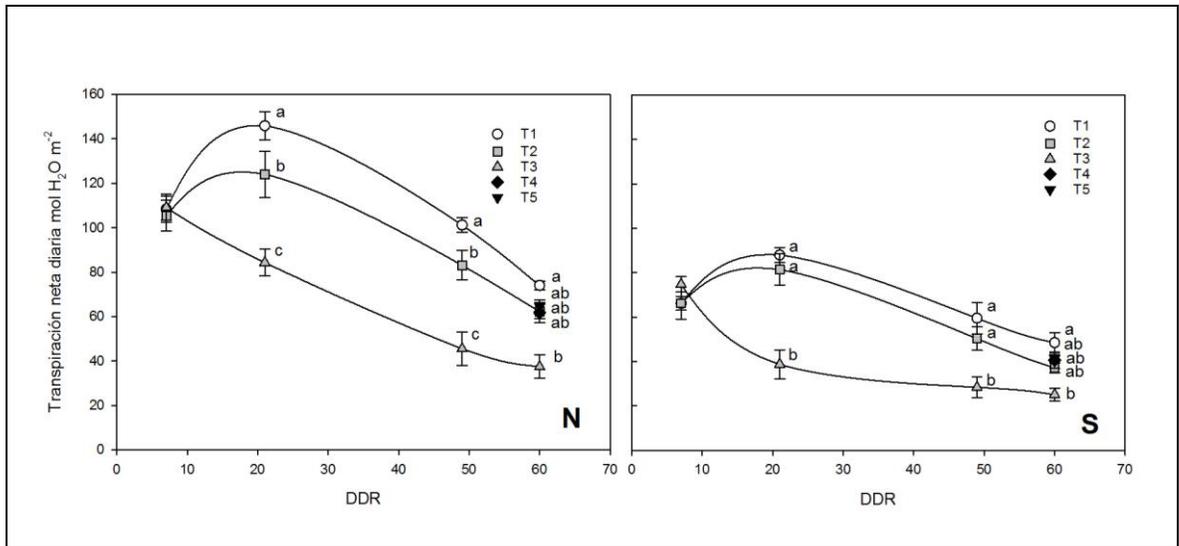


Figura 20. Valores diarios de los niveles de transpiración a través de la temporada para la variedad Cabernet Sauvignon a lo largo de la temporada, se utilizó el método del trapecio para alcanzar un valor diario por cada fecha de medición. Las letras minúsculas señalan diferencias significativas ($p < 0.05$). Barras de error indican error estándar (SE).

Syrah

En la Figura 21, se presentan los valores de transpiración a lo largo de la temporada para las plantas de la variedad Syrah. En general, se observa que los valores de transpiración aumentan cercano al mediodía en lado Este de la espaldera; mientras que, en la exposición Oeste, la tasa transpiratoria aumenta desde media tarde. Sin embargo, se observan valores similares en ambas exposiciones, los cuales varían entre $1,5 \text{ mmol H}_2\text{O m}^{-2}\text{s}^{-1}$ a $5 \text{ mmol H}_2\text{O m}^{-2}\text{s}^{-1}$. Se observa que el tratamiento de mayor riego, T1, alcanza valores de transpiración significativamente superiores con respecto a T3.

Desde los 8 DDR hasta los 50 DDR se observan diferencias significativas entre los tratamientos, principalmente en las plantas T1 y T3. Las diferencias se aprecian en ambos lados de la espaldera y en las horas cercanas a medio día solar. Al inicio de la temporada, a los 8 DDR en el lado Este se observan a medio día, mientras que en el lado Oeste ocurren a media tarde. A los 22 DDR en ambos lados ocurren a media tarde. En último lugar, a los 50 DDR se presentan diferencias tanto a media mañana como a media tarde y sólo a media tarde, en el lado Este y Oeste respectivamente.

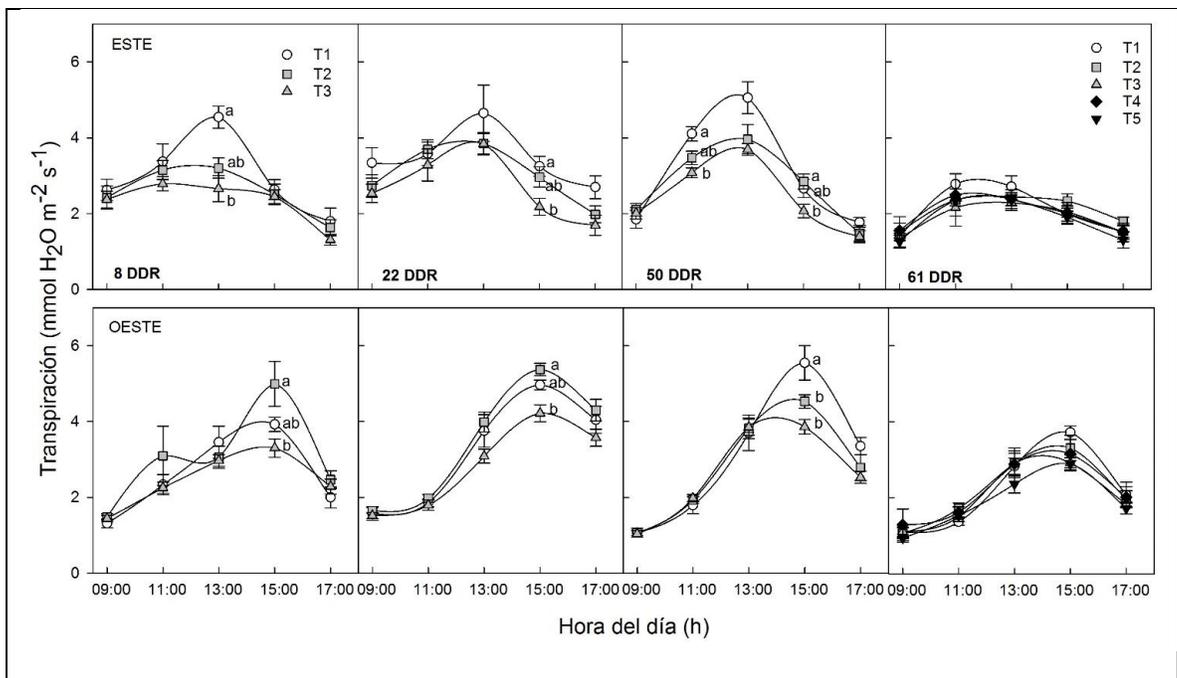


Figura 21. Variación de la transpiración (E) para la variedad Syrah, esta es medida 5 veces al día en ambos lados de la espaldera. También se encuentran representadas las 4 fechas de medición de las variables fotosintéticas. Las letras minúsculas describen el análisis estadístico, donde letras distintas indican diferencias significativas entre los tratamientos, estas se analizaron bajo el test de Tukey ($p < 0.05$). Barras de error indican error estándar (SE).

Se observan los valores de transpiración neta diaria (Figura 22). En general, se observa que los valores de transpiración son similares en ambos lados de la espaldera, los cuales se encuentran entre los rangos de entre $60 \text{ mol H}_2\text{O m}^{-2}$ a $100 \text{ mol H}_2\text{O m}^{-2}$. Por otro lado, el

tratamiento de mayor riego, T1, alcanza valores de transpiración superiores con respecto a T3. Sin embargo, sólo se observan diferencias en la primera fecha de medición en el lado Oeste de la espaldera, donde el tratamiento T2 alcanza un valor intermedio entre los otros dos tratamientos.

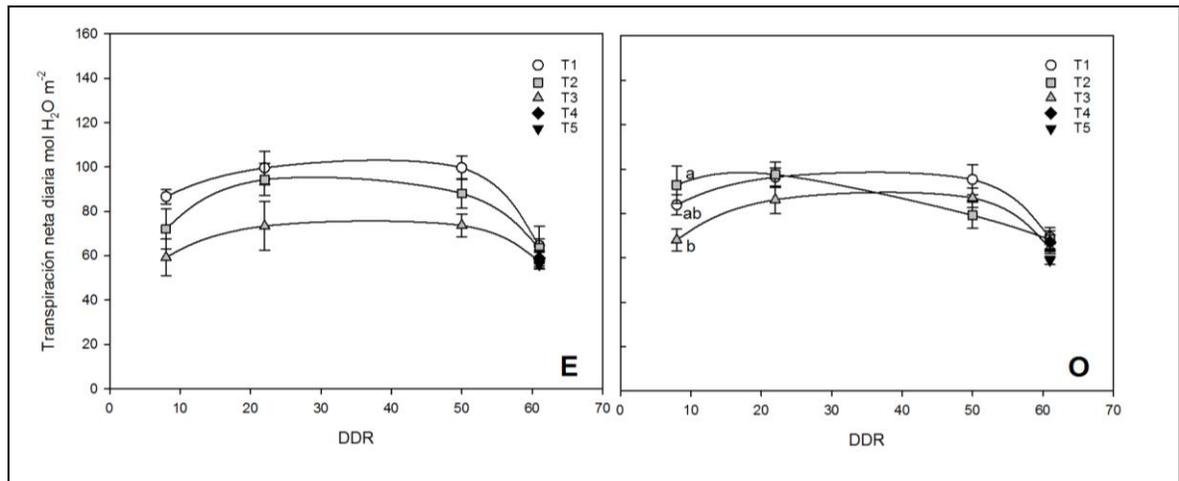


Figura 22. Valores diarios de los niveles de transpiración a través de la temporada para la variedad Syrah a lo largo de la temporada, se utilizó el método del trapecio para alcanzar un valor diario por cada fecha de medición. Las letras minúsculas señalan diferencias significativas ($p < 0.05$). Barras de error indican error estándar (SE).

Conductancia estomática (g_s)

Carménère

En la figura 23, se observan los valores de conductancia estomática (g_s) a través de la temporada en las plantas de Carménère. En esta variedad se observó que en general los valores de g_s son superiores en el lado Norte de la espaldera con respecto al lado Sur. Además, en el lado Norte existió una gran variación en los valores de conductancia obtenidos durante el día, con rangos de entre 0,03 a 0,15 mol H₂O m⁻²s⁻¹. Estos valores van disminuyendo hacia el final de la temporada, observando valores constantes de 0,10 mol H₂O m⁻²s⁻¹ a los 59 DDR; mientras que en el lado Sur se aprecian valores constantes, durante el día y a lo largo de la temporada, con rangos de entre los 0,05 a 0,10 mol H₂O m⁻²s⁻¹.

Al observar los resultados de g_s , se puede apreciar que en ambos lados de la espaldera y para todas las fechas de medición, el tratamiento de mayor descarga, T1, es el que presenta valores superiores con respecto a los tratamientos T2 y T3. Sin embargo, sólo en el lado Norte de la espaldera es posible apreciar diferencias estadísticamente significativas, principalmente entre los tratamientos T1 y T3. A los 6 DDR se presentan diferencias a media mañana, donde el tratamiento T2 alcanza valores promedios cercanos al tratamiento T3. A los 20 DDR y 48 DDR, es posible apreciar diferencias significativas desde temprano en la mañana, y hasta medio día, entre los tratamientos T1 y T3, donde el tratamiento T2 alcanza valores intermedios. Por último, al fin de la temporada, a los 59 DDR se observan diferencias desde media mañana hasta el mediodía; nuevamente los tratamientos T1 y T3 se diferencian entre sí, mientras que, en los tratamientos T2, T4 y T5 no se observan diferencias estadísticamente significativas con los otros tratamientos.

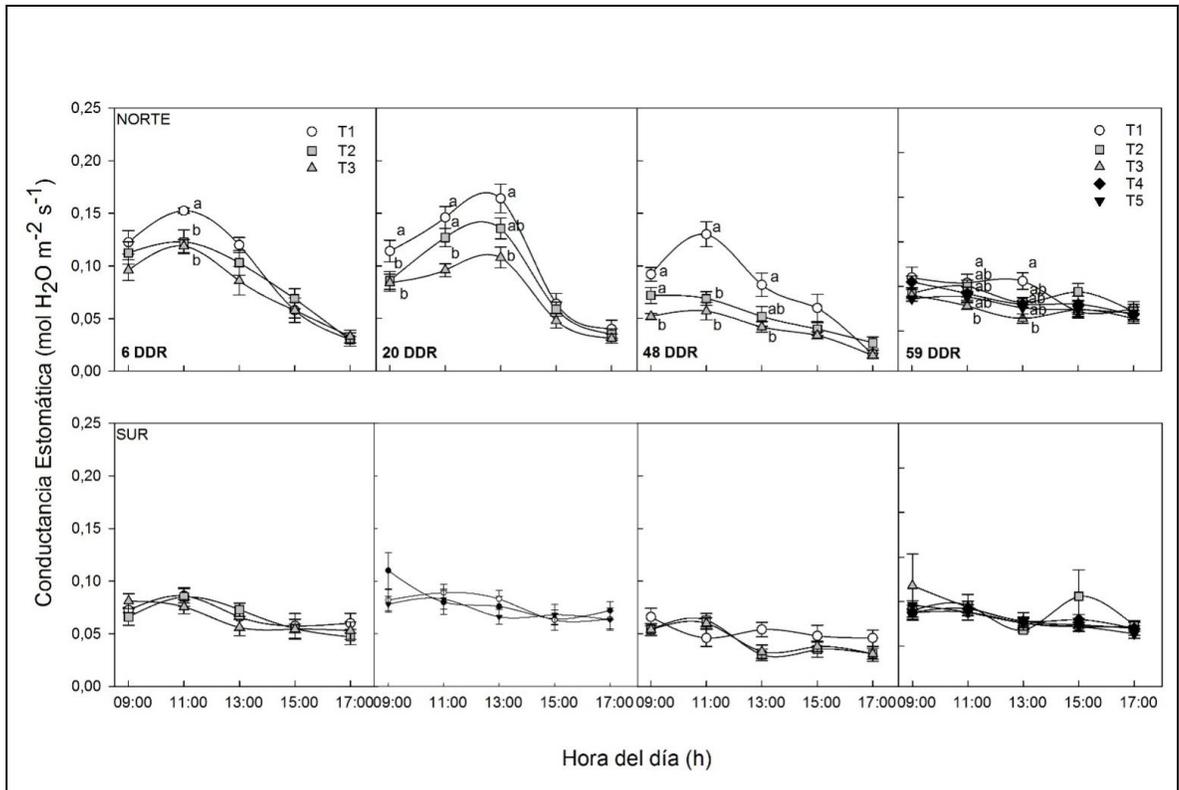


Figura 23. Variación de la conductancia estomática (g_s) para la variedad Carménère, esta es medida 5 veces al día en ambos lados de la espaldera. También se encuentran representadas las 4 fechas de medición de las variables fotosintéticas. Las letras minúsculas describen el análisis estadístico, donde letras distintas indican diferencias significativas entre los tratamientos, estas se analizaron bajo el test de Tukey ($p < 0.05$). Barras de error indican error estándar (SE).

Al presentar los resultados de g_s neta diaria (Figura 24), se observa una tendencia general en ambos lados de la espaldera. Los valores de conductancia son similares tanto en el lado Norte como en el lado Sur. Sin embargo, sólo en el lado Norte se aprecian diferencias entre los tratamientos, nuevamente, entre las plantas de T1 y T3. Desde los 20 DDR hasta el final de la temporada, a los 59 DDR, es posible observar diferencias estadísticamente significativas. A los 20 DDR, el tratamiento T2 alcanza valores intermedios con respecto a T1 y T3. A los 48 DDR, las plantas con el tratamiento intermedio, T2, se diferencia con respecto a T1, con valores similares al tratamiento T3. Finalmente a los 59 DDR se aprecia que los tratamientos T2, T4 y T5 alcanzan valores superiores con respecto al tratamiento T3, sin embargo, no se observan diferencias significativas.

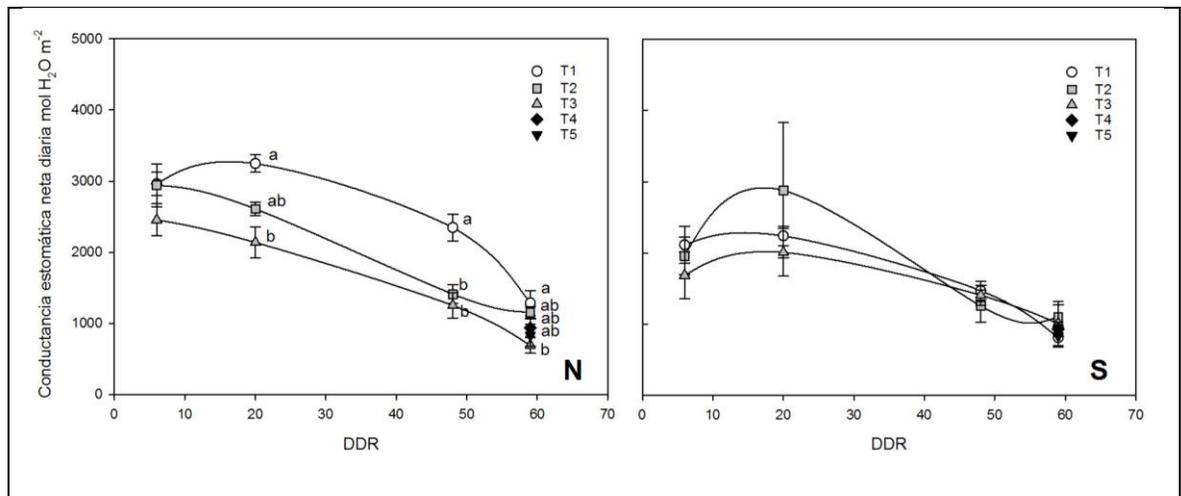


Figura 24. Valores de los niveles de la conductancia estomática neta diaria a través de la temporada para la variedad Carménère a lo largo de la temporada, se utilizó el método del trapecio para alcanzar un valor diario por cada fecha de medición. Las letras minúsculas señalan diferencias significativas ($p < 0.05$). Barras de error indican error estándar (SE).

Cabernet Sauvignon

En la figura 25, se observan los valores de conductancia estomática a lo largo de la temporada para las plantas de Cabernet Sauvignon. En esta medición se aprecia que los valores del lado Norte de la espaldera alcanzan valores superiores al lado Sur. Además, en ambos lados de la espaldera, se observa que los valores de g_s disminuyen a lo largo de la temporada.

Las diferencias significativas se observan en ambos lados desde los 21 DDR hacia el final de la temporada, a los 60 DDR. En general las diferencias se presentan entre los tratamientos T1 y T3. A los 21 DDR y 49 DDR se observan diferencias a lo largo del día, pero cercano al mediodía solar, los tratamientos T1, T2 y T3 se diferencian entre ellos. En el lado Norte a los 21 DDR, a media mañana; mientras que a los 49 DDR en ambos lados de la espaldera, en el lado Norte al medio día y en el lado Sur a media mañana. Finalmente a los 60 DDR, los tratamientos con reposición de riego T4 y T5 no se observan diferencias significativas entre los demás tratamientos, alcanzando valores intermedios.

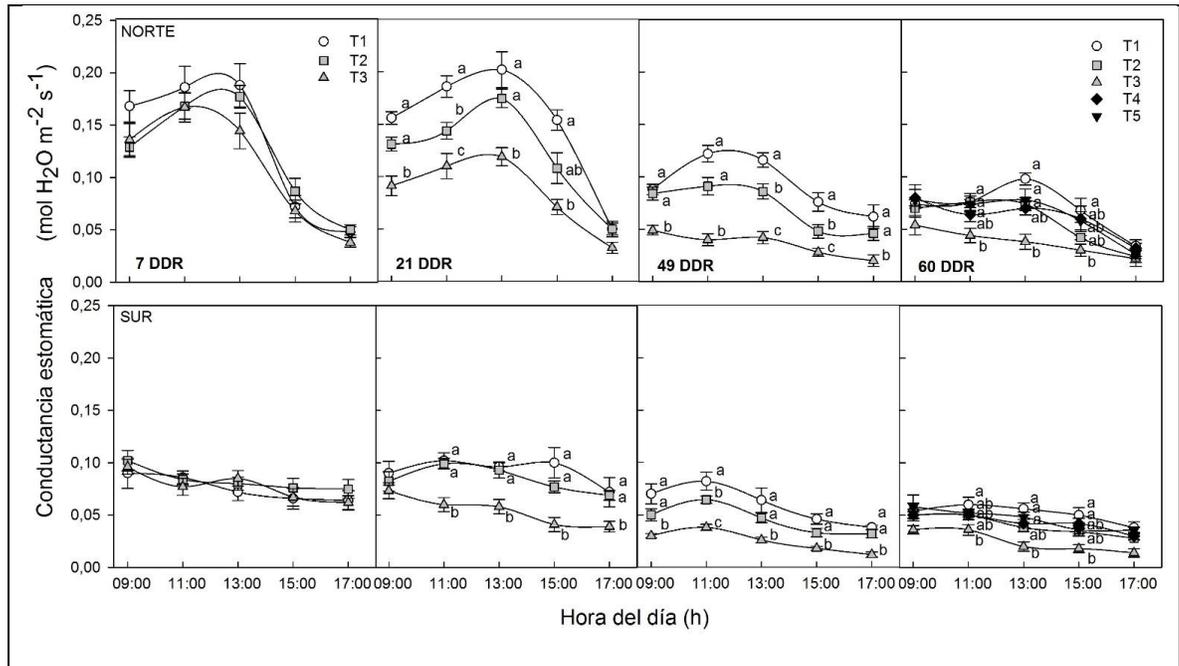


Figura 25. Variación de la conductancia estomática (g_s) para la variedad Cabernet Sauvignon, esta es medida 5 veces al día en ambos lados de la espaldera. También se encuentran representadas las 4 fechas de medición de las variables fotosintéticas. Las letras minúsculas describen el análisis estadístico, donde letras distintas indican diferencias significativas entre los tratamientos, estas se analizaron bajo el test de Tukey ($p < 0.05$).

En la figura 26 se aprecian los valores de conductancia estomática neta diaria para la variedad Cabernet Sauvignon. Se observa una clara tendencia en los valores de g_s los cuales disminuyen gradualmente a lo largo de la temporada. En ambos lados de la espaldera se aprecia un comportamiento similar; el lado Norte alcanza valores 2 a 3 veces superior con respecto al lado Sur.

Se observan diferencias significativas desde los 21 DDR hasta el final de la temporada. A los

21 DDR y 49 DDR, se aprecia que los tres tratamientos, T1, T2 y T3 presentan diferencias significativas entre ellos. Por ultimo en la última fecha de medición, a los 60 DDR, se observa que los demás tratamientos, T1, T2, T4 y T5 presentan valores superiores con respecto a T3, alcanzando diferencias significativas con el tratamiento de riego más severo.

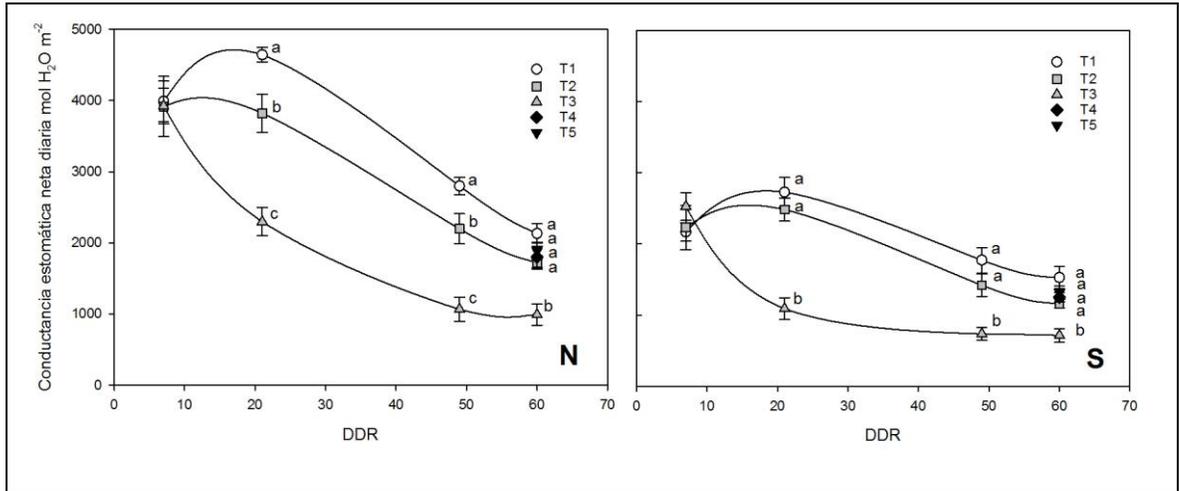


Figura 26. Valores de la conductancia estomática neta diaria a través de la temporada para la variedad Cabernet Sauvignon a lo largo de la temporada, se utilizó el método del trapecio para alcanzar un valor diario por cada fecha de medición. Las letras minúsculas señalan diferencias significativas ($p < 0.05$). Barras de error indican SE.

Syrah

La Figura 27, presenta los valores de g_s en las plantas de Syrah. Los valores tanto en el lado Este como el lado Oeste son similares, con valores máximos de entre $0.13 \text{ mol H}_2\text{O m}^{-2}\text{s}^{-1}$ y valores mínimos de $0.05 \text{ mol H}_2\text{O m}^{-2}\text{s}^{-1}$. La diferencia entre el lado Este y el lado Oeste de la espaldera es que en el lado Este se observan valores más altos durante la mañana y que van disminuyendo hacia la tarde, mientras que en la exposición Oeste, presenta valores menores durante la mañana y van aumentando a lo largo del día.

Se pueden apreciar diferencias significativas desde los 8 DDR hasta los 50 DDR, en ambos lados de la espaldera. Se observa que los tratamientos de mayor riego, T1, y las plantas regadas al 30%, T3, presentan diferencias significativas, mientras que el tratamiento T2 alcanza valores intermedios. Las diferencias estadísticamente significativas se observan sólo en horarios puntuales y cercanas al medio día solar. A los 8 DDR, en el lado Este de la espaldera, se aprecia que las diferencias significativas se presentan al medio día; mientras que, en el lado Oeste las diferencias se observan a media tarde. A los 22 DDR, en ambos lados de la espaldera, las diferencias significativas se observan a media tarde. A los 50 DDR, se aprecian diferencias desde media mañana hasta el mediodía y a media tarde, en el lado Este y Oeste, respectivamente. Finalmente, a los 61 DDR no se observan diferencias significativas entre los tratamientos.

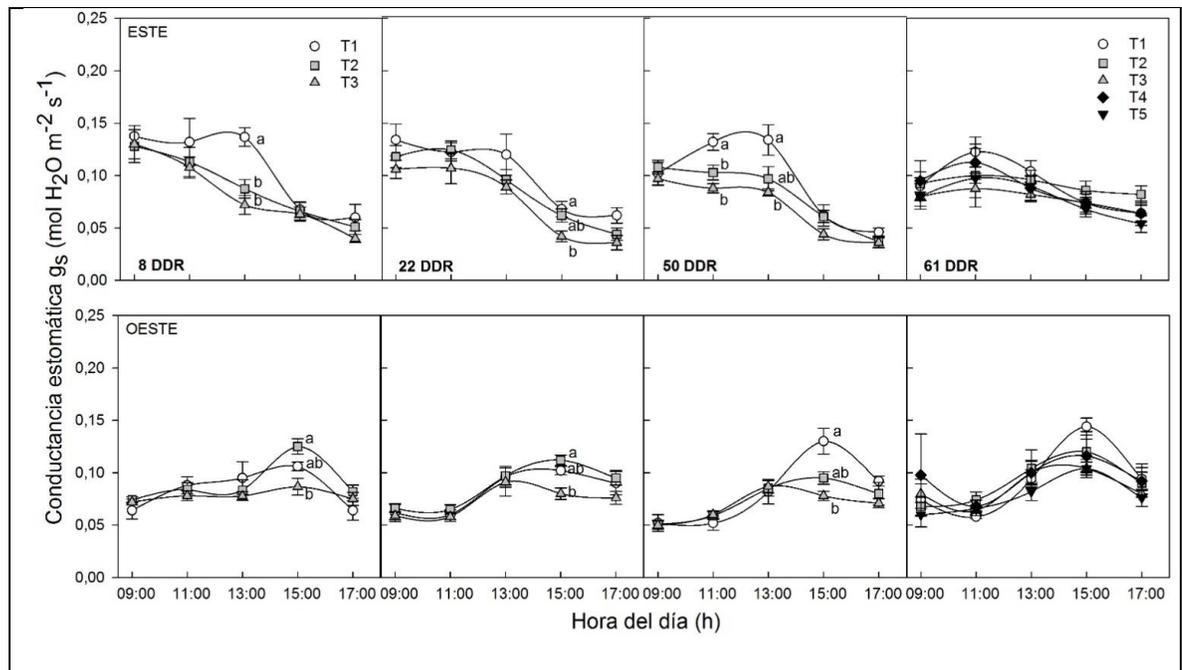


Figura 27. Variación de la conductancia estomática (g_s) para la variedad Syrah, esta es medida 5 veces al día en ambos lados de la espaldera. También se encuentran representadas las 4 fechas de medición de las variables fotosintéticas. Las letras minúsculas describen el análisis estadístico, donde letras distintas indican diferencias significativas entre los tratamientos, estas se analizaron bajo el test de Tukey ($p < 0.05$).

Los valores observados en la medición de conductancia estomática neta diaria en la variedad Syrah (Figura 28) no presentan variaciones a lo largo de la temporada. Se observan valores constantes desde los 7 DDR hasta el final de la temporada a los 60 DDR, con valores que están dentro del rango de los 2000 a 3000 mol H₂O m⁻².

Se observan diferencias estadísticamente significativas sólo en dos fechas de medición. A los 22 DDR y 50 DDR, las cuales se aprecian sólo en el lado Norte de la espaldera. En ambos casos se presentan diferencias significativas entre los tratamientos T1 y T3, donde finalmente el tratamiento T2 alcanza un valor intermedio.

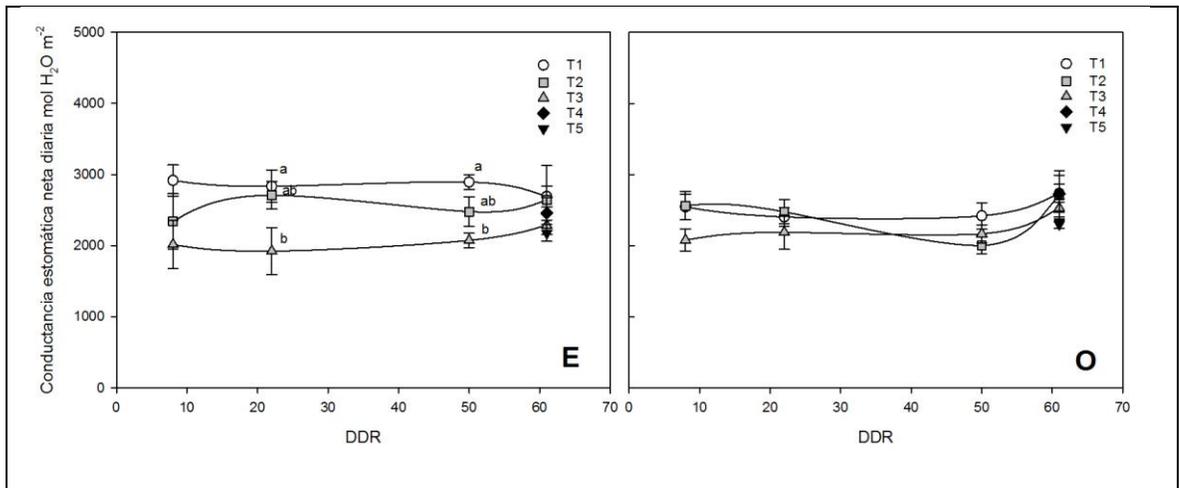


Figura 28. Valores de la conductancia estomática neta diaria a través de la temporada para la variedad Syrah a lo largo de la temporada, se utilizó el método del trapecio para alcanzar un valor diario por cada fecha de medición. Las letras minúsculas señalan diferencias significativas ($p < 0.05$). Barras de error indican SE.

PORCENTAJE DE PÉRDIDA DE CONDUCTIVIDAD HIDRÁULICA EN SARMIENTOS

La Figura 29, presenta el porcentaje de pérdida de la conductividad hidráulica (PLC) y su diferencia entre los tratamientos, tanto para Carménère, Cabernet Sauvignon y Syrah. En general se aprecia que los valores de T1 en promedio son menores con respecto a los demás tratamientos, sin embargo, no se observan diferencias significativas entre los tratamientos, en ninguna de las variedades en la presente medición.

En las plantas de la variedad Carménère se observa que el tratamiento con más riego, T1, posee un porcentaje menor de pérdida de conductividad hidráulica; mientras que el tratamiento T2 tiene porcentajes más altos con respecto a T3. Por otro lado, los tratamientos rehidratados T4 y T5, se aprecian distintos comportamientos, el tratamiento T4 aumenta el porcentaje de pérdida con respecto a T2, mientras que T5 disminuye en comparación a T3.

Las plantas de Cabernet Sauvignon se observó que las plantas T1 tienen un porcentaje menor de pérdida en la conductividad hidráulica con respecto a T2 y mientras que T3, es el que alcanza un porcentaje mayor con respecto los demás tratamientos. En el caso de los tratamientos con reposición de riego, T4 y T5, estos tienen valores menores con respecto a los tratamientos originales, T2 y T3 respectivamente.

Finalmente en las plantas de la variedad Syrah, los valores del tratamiento de mayor riego, T1, presentan valores menores con respecto a los demás tratamientos; T2 posee porcentajes mayores que T3. En cuanto a los tratamientos rehidratados T4 y T5 tienen comportamientos disimiles, T4 alcanza valores menores con respecto al tratamiento T2, mientras que T5 presenta un porcentaje mayor a T3.

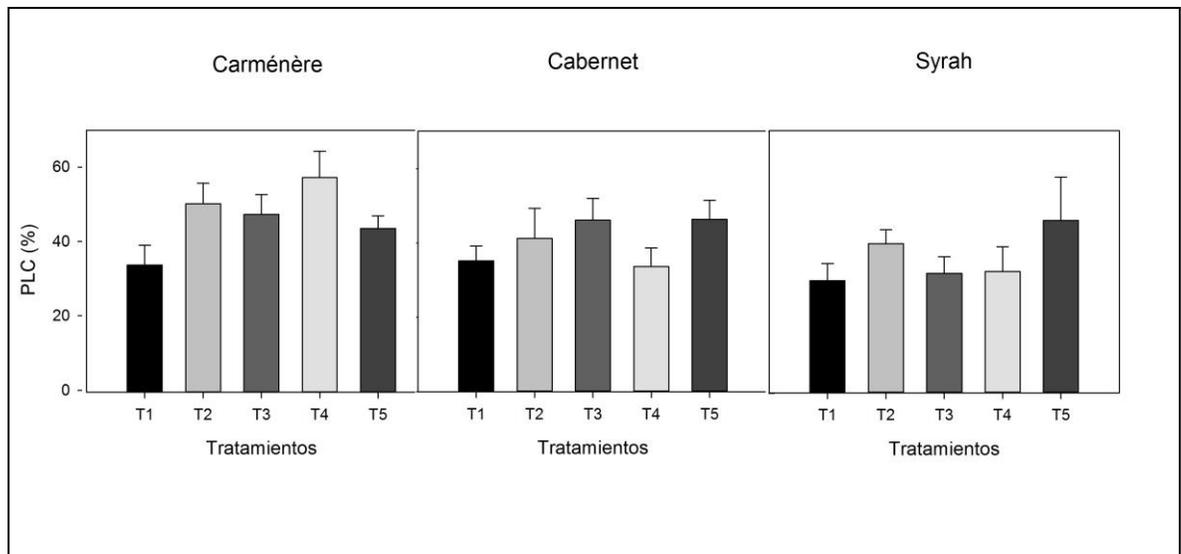


Figura 29. Porcentaje de pérdida de conductividad hidráulica al final de la temporada medido en todos los tratamientos para las tres variedades. Barras de error indican SE.

En la Figura 30, se observa el porcentaje de pérdida de conductividad hidráulica para las tres variedades. La variedad Carménère presenta el porcentaje de pérdida de conductividad hidráulica más alto, 46,8%. Mientras que, al observar la variedad Cabernet Sauvignon alcanza un porcentaje promedio de 41,4%. Finalmente, la variedad Syrah alcanza un porcentaje menor con respecto a ambas variedades anteriormente señaladas, de un 35,0%.

Se observan diferencias estadísticamente significativas entre las variedades Carménère y Syrah. Por otro lado, Cabernet Sauvignon, alcanza un valor intermedio.

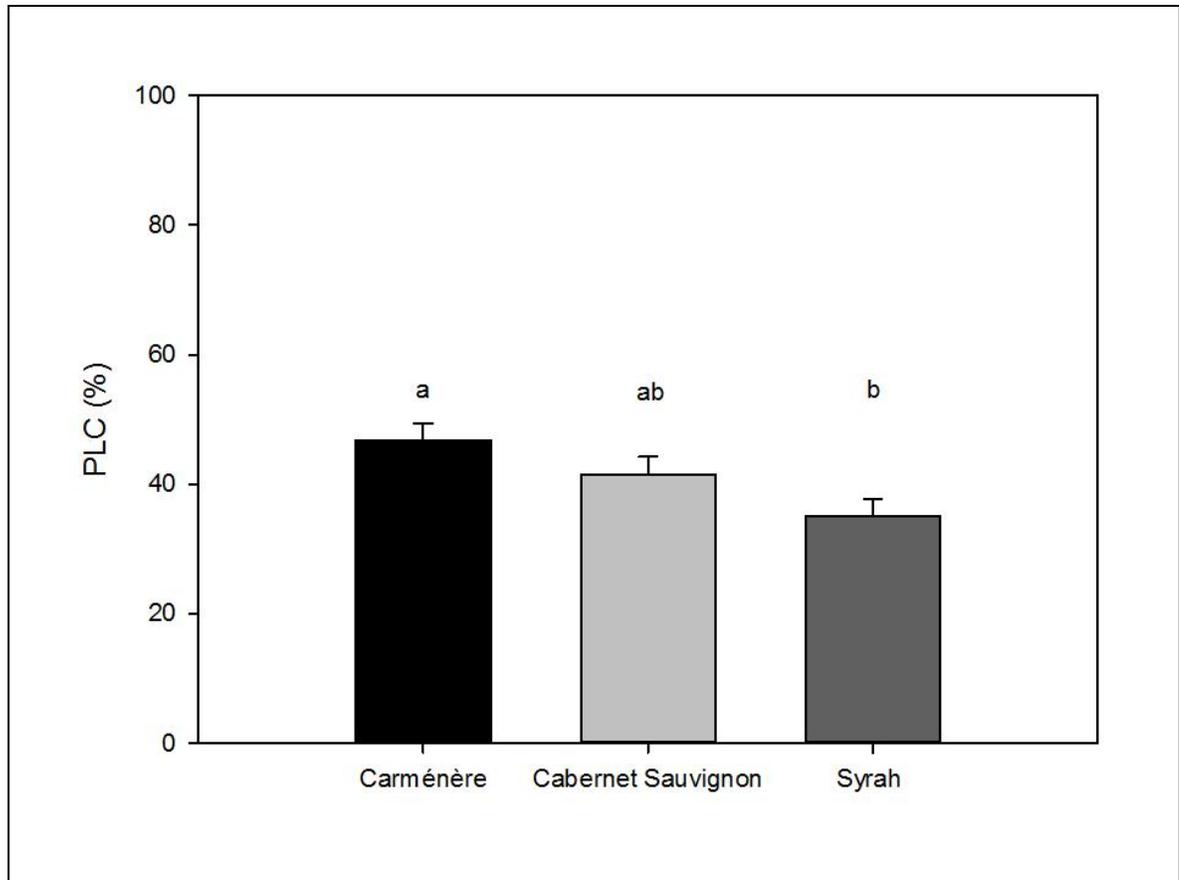


Figura 30. Porcentaje de pérdida de conductividad hidráulica al final de la temporada donde se compara entre variedades. Las letras minúsculas señalan diferencias significativas ($p < 0.05$). Barras de error indican SE.

DISCUSIÓN

El estrés hídrico es un factor limitante para una amplia gama de procesos fisiológicos en especies vegetales, las cuales responden de diversas formas frente a este estímulo (Cornic 1994, McDonald and Davies, 1996). Para caracterizar el estado hídrico de las plantas, Van Leeuwen et al (2009) señala que potenciales hídricos xilemáticos de entre -0,6 y -0,9 MPa, definen una condición de estrés leve, mientras que teniendo valores de entre -1,1 y -1,4 MPa, es considerada una situación de estrés moderado a severo. En el estudio se puede observar que, específicamente, en las variedades Cabernet Sauvignon y Carménère (Figura 2 y 3) todos los tratamientos estaban en una situación de estrés leve a severa. En el caso de la variedad Syrah (Figura 4), al inicio de la temporada, comenzó con valores muy negativos de potencial, presentando una condición de estrés severa. Sin embargo, al final de la temporada evidencia una condición sin estrés, esto se puede deber a una mayor descarga de riego al final de la temporada (Figura 1)

El potencial hídrico de prealba, es considerado un indicativo del estado hídrico del suelo de forma inmediata (Correia et al., 1995; Schultz, 1997; Winkel and Rambal, 1990). Choné et al. (2001) señala que el potencial hídrico xilemático de medio día es más sensible para definir una situación inicial de estrés que el potencial hídrico de prealba, ya que esta última medición no toma en consideración las variables atmosféricas. Esto se puede observar en los resultados obtenidos en las tres variedades en estudio, ya que se observan diferencias estadísticamente significativas en el potencial hídrico xilemático de medio día (Figura 2, 4 y 4) en etapas tempranas del ensayo, y no así en el potencial hídrico de prealba (Figura 5, 6 y 7), donde en algunos casos no se aprecian diferencias o sólo se observan al final de la temporada. Esto último puede deberse a una condición del sistema poroso que impide el buen drenaje del suelo, reteniendo el agua por más tiempo (Bear, 1972).

Por otro lado, se ha descrito que bajo condiciones de estrés leve a moderado, el cierre estomático es la respuesta más común por parte de las plantas, por medio de este mecanismo, se restringe la pérdida de agua, pero se sacrifica la asimilación de carbono (Chaves et al., 2010). Estudios en diversas variedades de vid han señalado que la fotosíntesis es muy resistente al estrés hídrico (Flexas et al., 2002; Souza et al., 2005; Chaves et al., 2010), pero en condiciones de estrés severo se ha observado una clara disminución en la A_n (Marocco et al., 2002). Se sabe, sin embargo, que las plantas varían en su respuesta estomática frente a condiciones de estrés hídrico. En este sentido, se han clasificado las plantas como isohídricas o anisohídricas.

Las especies isohídricas tienen un fuerte control estomático, reduciendo su transpiración y asimilación de carbono, de esta forma se mantiene el potencial hídrico xilemático (Ψ_x) previo al estrés (Franks et al., 2007; Domec and Johnson, 2011). Esto se ve reflejado principalmente en las variedades Carménère y Cabernet Sauvignon, aunque esta última presenta este comportamiento de manera más evidente y marcado que Carménère. En ambas variedades se aprecia una disminución en la asimilación neta (Figura 12 y 14) y en la transpiración (Figura 18 y 20), además de un control estomático más sensible al riego restringido (Figura

24 y 26). Lo anterior concuerda con lo reportado por Flexas et al (2008), quien concluye que además del estrés, el cierre estomático, induce una reducción en la conductancia del CO₂ en el mesófilo de la hoja, reduciendo la disponibilidad de este gas en los sitios de carboxilación. Además, al observar los potenciales hídricos xilemáticos se aprecia que los valores de Carménère (Figura 2) y Cabernet Sauvignon (Figura 3), se mantienen relativamente constantes a lo largo de la temporada, lo que corresponde a un comportamiento característico de las plantas isohídricas.

Por otra parte, las especies anisohídricas mantendrán altos valores de conductancia estomática, conservando su transpiración sin disminuir su capacidad fotosintética (Maseda et al., 2006). Este comportamiento ha sido asociado a una mejor tolerancia a déficit hídricos prolongados (McDowel, 2011). Al mantener sus estomas abiertos, las plantas anisohídricas disminuyen su Ψ_x muy marcadamente a lo largo del día (Tardieu and Simonneau, 1998). Según lo descrito en los resultados del presente estudio, la variedad Syrah podría ser catalogada como una especie anisohídrica, ya que no se observan cambios marcados en la A_n (Figura 16), ni en las variables de E (Figura 22) y g_s (Figura 28) a través de la temporada. Además, presenta grandes variaciones del Ψ_x a lo largo de la temporada.

Se ha estudiado que las señales hidráulicas desde las raíces generan un aumento en la biosíntesis de ácido abscísico (ABA). Esta fitohormona participa activamente en el control estomático, la cual no se ve afectada por la demanda atmosférica, sino que, estaría directamente relacionado con la disponibilidad de agua en el suelo (Rogiers et al, 2012). Tardieu and Simoneau (1998) señalan que las plantas isohídricas y anisohídricas tienen diferencias en la percepción del ABA. Las diferencias en el control estomático estarían relacionadas a la susceptibilidad con que se perciben los factores ambientales, donde, en el caso de las plantas isohídricas el ABA modificaría la respuesta del estoma, mientras que en el caso de las anisohídricas, el ABA no influye en el cierre estomático. (Davies and Zhang, 1991; Tardieu and Simoneau, 1998). Al observar la g_s en las plantas de la variedad Syrah (Figura 28), se puede deducir que a pesar de presentar riegos diferenciados (Figura 1) y con claros niveles de estrés severo a moderado (Figura 4), no se observa una disminución en la conductancia estomática.

Otra consecuencia del déficit hídrico prolongado en las plantas, se encuentra una disminución en la conductividad hidráulica (Sperry, 1986). Donde, se encontró una cercana relación entre la función estomática y la parte hidráulica de las plantas (Sperry, 1986; Cochard et al, 2002; Sperry et al, 2002). Los estomas mantienen el flujo de agua dentro de límites seguros para prevenir que las plantas excedan su límite de potencial hídrico xilemático y así prevenir el embolismo en el xilema (Sperry et al, 2002). La conductividad hidráulica puede cambiar como resultado de i) la actividad estomática, ii) modificaciones en el tamaño de los vasos o iii) la interrupción de la columna de agua por vasos embolizados (Lovisolo and Schubert, 1997).

Según la actividad estomática, las plantas isohídricas pueden prevenir la cavitación en condiciones de sequía, ya que poseen una mayor sensibilidad estomática (Schultz, 2003). Sin embargo, por el contrario, las especies anisohídricas presentan una menor sensibilidad

estomática, manteniendo la asimilación de carbono con tasas más altas a medida que la sequía se intensifica, pero esta estrategia genera un mayor riesgo de falla hidráulica, sobre todo, si el estrés hídrico es severo (Hoffmann et al., 2011; McDowell, 2011). No obstante, al observar el porcentaje de pérdida de conductividad hidráulica las variedades isohídricas, Carménère y Cabernet Sauvignon alcanzan porcentajes mucho más altos que la variedad anisohídrica, Syrah (Figura 30), la cual posee un mejor porcentaje de pérdida de conductividad hidráulica, lo que implica un mayor flujo de agua en la planta.

Sin embargo, no sólo el comportamiento estomático afectaría el flujo de agua dentro de la planta, también se ha descrito que la distribución, organización y tamaño de los vasos xilemáticos influyen en su movimiento (Brodersen et al., 2013). Comúnmente, los vasos xilemáticos de mayor tamaño se asocian con una mayor sensibilidad al embolismo en condiciones de estrés (Chouzouri and Schulz, 2005). Junto con esto, el diámetro de los vasos y su interconexión determinan la actividad vascular (Lovisol and Schubert, 1997; Nijse et al., 2001).

Chouzouri y Schultz (2005) realizaron un estudio sobre la susceptibilidad a la cavitación según el origen geográfico de las vides, donde se atribuyó directamente a la arquitectura de la planta y su adaptación ecofisiológica al medio de origen, como responsables de una mejor adaptación al déficit hídrico. Estos autores clasifican la variedad Syrah como una planta con un comportamiento anisohídrico, presentando vasos xilemáticos de diámetros más pequeños. Mientras que, las otras variedades estudiadas por Chouzouri y Schultz (2005), Silvaner y Airen, son clasificadas como isohídricas, las cuales fueron asociadas a vasos xilemáticos más alargados y de mayor diámetro. A partir de los resultados que obtuvieron, explican que las variedades isohídricas cavitarian con mayor facilidad, mientras que las variedades anisohídricas al tener vasos más pequeños y de menor diámetro, evitarían la cavitación en el xilema. Esto concuerda con los resultados observados en las distintas variedades del presente estudio (Figura 30). Sin embargo, no se puede afirmar con seguridad que el diámetro de los vasos sea el factor que influye directamente. Para esto, es necesario complementar los resultados de este estudio con la medición de otros parámetros, específicamente, conocer el diámetro y tamaño de vasos de las distintas variedades.

Distintos autores señalan que la pérdida de conductividad hidráulica, causada por vasos embolizados, puede recuperarse mediante la rehidratación de las plantas (Cochard et al., 1994; Lovisol et al., 2008; Brodeersen et al, 2013). También, se ha descrito que las modificaciones en el diámetro de los vasos difieren en su capacidad de eliminar el embolismo, una vez que se ha eliminado el estrés, los vasos xilemáticos de mayor diámetro tendrían una mayor facilidad de eliminar el embolismo, mientras que, los vasos xilemáticos de menos diámetro generan una mayor resistencia (Sperry, 1986; Sperry et al, 1988). Sin embargo, al observar los tratamientos donde se repuso el riego hacia el final de la temporada, T4 y T5 (Figura 29), se aprecia que no existe una relación directa entre los tratamientos de origen con respecto a la rehidratación de los tratamientos. Hacke y Sperry (2001), señalan que la modificación del tamaño de los vasos ocurriría en el caso de un estrés constante, durante el crecimiento activo de las plantas. En el presente estudio, no se observarían modificaciones en los vasos xilemáticos, ya que la reposición del riego fue al finalizar la

temporada, cercana a la cosecha. Por otro lado, Tyree y Sperry (1989) indican que para eliminar el embolismo y disolver las burbujas de aire en los vasos xilemáticos embolizados se requiere que la presión del xilema vuelva a tener valores positivos o por lo menos una presión ligeramente por debajo de la presión atmosférica, esto implica que, además de la rehidratación de los tratamientos, se debe tener una alta demanda atmosférica para generar un flujo de agua constante. Sin embargo, al momento de realizar la rehidratación de los tratamientos, a finales de marzo, 50 DDR. La demanda atmosférica no es tan alta para generar el gradiente para eliminar el embolismo, por lo tanto los tratamientos se observan iguales entre sí.

Finalmente, también se ha observado que la morfo-anatomía de las hojas y su bioquímica relacionada, la composición de la cera cuticular, la composición lipídica, el grosor del mesófilo, etc. pueden jugar un rol en la explicación de la adaptación al estrés hídrico (Syversten et al., 1995; Boyer et al., 1997; Cameron et al., 2006). En términos generales es apresurado sólo atribuir a la sensibilidad estomática como un factor determinante en el flujo del agua dentro de la planta.

CONCLUSIONES

De acuerdo a las observaciones realizadas en base a la actividad fotosintética e intercambio de gases en general, particularmente de conductancia estomática, es posible concluir que, las variedades Cabernet Sauvignon y Syrah se confirman como variedades isohídricas y anisohídricas, respectivamente, Carménère corresponde a una variedad isohídrica. Esta última es confirmada por primera vez.

Al evaluar el potencial hídrico xilemático se reafirma que es una variable sensible para reconocer estados tempranos de estrés en las plantas, no así el potencial hídrico de prealba.

Al observar el porcentaje de pérdida de conductividad hidráulica y su rehidratación al final de la temporada, no se evidencia una relación directa entre ellos. Por lo tanto, se puede inferir que existen otros factores que influirían en la adaptación de las plantas bajo un déficit hídrico prolongado.

Por otro lado, la pérdida de conductividad hidráulica se vincula directamente con los distintos comportamientos estomáticos. En que la variedad anisohídrica, Syrah, es menos sensible a la pérdida de conductividad hidráulica con respecto a las variedades anisohídricas, Carménère y Cabernet Sauvignon.

BIBLIOGRAFÍA

- Alleweldt, G.; P. Spiegel-Roy and B. Reich. 1990. Grapes (*Vitis*). *Acta Horticulturae* 290: 291 – 327.
- Bear, J. 1972. Dynamics of Fluids in Porous Media. New York. Elsevier. 764p.
- Boyer, JS.; SC. Wong and GD. Farquhar. 1997. CO₂ and water vapor exchange across leaf cuticle (epidermis) at various water potentials. *Plant Physiology* 114: 185-191.
- Brodersen, C.; B. Choat; D. Chatelet; K. Shackel; M. Matthews and A. McElrone. 2013. Xylem vessel relays contribute to radial connectivity in grapevine stems (*Vitis vinifera* and *V. Arizonica*; Vitaceae). *American Journal of Botany* 100(2): 314-321.
- Brodersen, C.; A. McElrone; B. Choat; M. Matthews and K. Shackel. 2010. The dynamics of embolism repair in xylem: in vivo visualizations using high-resolution computed tomography. *Plant Physiol* 154:1088–1095.
- Cameron, K.D.; MA. Teece and LB. Smart. 2006. Increased accumulation of cuticular wax and expression of lipid transfer protein in response to period drying events in leaves of tree tobacco. *Plant Physiology* 140: 176-183.
- Castellarin, S.; M. Matthews; G. Di Gaspero and G. Gambetta. 2007. Water deficits accelerate ripening and induce changes in gene expression regulating flavonoid biosynthesis in grape berries. *Planta* 227 (1): 101-112.
- Chavez, MM; O. Zarrouk; R. Francisco; JM. Costa; T. Santos; AP. Regalado; MI. Rodrigues; CM. Lopes. 2010. Grapevine under deficit irrigation: hints from physiological and molecular data. *Annals of botany* 105: 661-676.
- Choné, X.; C. Van Leeuwen; D. Dubourdieu and J. Gaudillère. 2001. Stem water potential is a sensitive indicator of grape water status. *Annals of Botany*. 87: 477-483.
- Chouzori, A. and HR. Schultz. 2005 Hydraulic anatomy cavitation susceptibility and gas-exchange of several grapevine cultivars of different geographic origin. *Acta Horticulturae* 689: 71-78.
- Christman, MA.; JS. Sperry and DD. Smith. 2012 Rare pits, large vessels and extreme vulnerability to cavitation in a ring-porous tree species. *New Phytol* 193:713–720.
- Cochard, H.; FW. Ewers and MT. Tyree. 1994. Water relations of a tropical vine-like bamboo (*Rhipidocladum racemiflorum*) root pressures, vulnerability to cavitation and seasonal changes in embolism. *Journal of Experimental Botany* 45: 1085-1089.

Cochard, H. 2002. Xylem embolism and drought-induced stomatal closure in maize. *Planta* 215: 466.

CORFO (Corporación de Fomento de la Producción). [En línea]. 1964. Recuperado en: <http://www.plataformacaldera.cl/biblioteca/589/articles-66458_documento.pdf>. Consultado el: 19 de agosto de 2015.

Cornic G. 1994. Drought stress and high light effects on leaf photosynthesis. In: Photoinhibition of Photosynthesis from molecular mechanisms to the field. Eds N.R Baker and J.R. Bowyer) Bios Scientific Publishers, Oxford. pp. 297-313.

Correia, M.; J. Pereira; M. Chaves; M. Rodrigues and C. Pacheco. 1995. ABA xylem concentrations determine maximum daily leaf conductance of field-grown *Vitis vinifera* L. plants. *Plant, Cell and Environment*. 18(5): 511-521.

Davies, WJ. and J. Zhang. 1991. Root signals and the regulation of growth and development of plants in drying soil. *Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology* 42: 55 – 76.

Domec, JC. and D. Johnson. 2011. Does homeostasis or disturbance of homeostasis in minimum leaf water potential explain the isohydric versus anisohydric behavior of *Vitis Vinifera* L. cultivars? *Tree Physiology* 32: 245-248.

FAO. 2006. Evapotranspiración del cultivo, Guías para la determinación de los requerimientos de agua de los cultivos. [en línea]. Lugar de publicación: Roma. Recuperado en: <<http://www.fao.org/docrep/009/x0490s/x0490s00.htm>> Consultado el: 22 de Diciembre, 2014.

Franks, P.; P. Drake and R. Froend. 2007. Anisohydric but isohydrodynamic: seasonally constant plant water potential gradient explained by a stomatal control mechanism incorporating variable plant hydraulic conductance. *Plant, Cell and Environment* 30: 19-30.

Flexas, J.; J. Bota; JM. Escalona and H. Medrano. 2002. Effects of drought on photosynthesis in grapevines under field conditions: an evaluation of stomatal and mesophyll limitations. *Functional Plant Biology* 29: 461 – 471.

Flexas J.; M. Ribas-Carbo; A. Diaz-Espejo; J. Galmes and H. Medrano. 2008. Mesophyll conductance to CO₂: current knowledge and future prospects. *Plant, Cell and Environment*. 31(5): 602-621.

Hacke, UG and JS. Sperry. 2001. Functional and ecological xylem anatomy. *Perspectives in Plant Ecology, Evolution and Systematics*, 4(2): 97–115.

Hacke. UG.; JS. Sperry; JK. Wheeler and L. Castro. 2006. Scaling of angiosperm xylem structure with safety and efficiency. *Tree Physiol* 26: 689–701.

Hochberg, U.; A. Degu; A. Fait and S. Rachmilevitch. 2013. Near isohydric grapevine cultivar displays higher photosynthetic efficiency and photorespiration rates under drought stress as compared with near anisohydric grapevine cultivar. *Phys Plant* 147: 443-452.

Hoffman, WA.; RM. Marchin; P. Abit and OL. Lau. 2011. Hydraulic failure and tree dieback are associated with high wood density in a temperate forest under extreme drought. *Glob.Change Biol* 17: 2731 – 2742.

Jara, D. y A. Valenzuela. 1998. Necesidades de Agua de los Cultivos. CNR-U. de Concepción. Chillán, Chile. 24 p.

Jones HG. 1980 Interaction and integration of adaptive responses to water stress: the implications of an unpredictable environment. In *Adaptation of Plants to Water and High Temperature Stress*. N.C. Turner & P.J. Kramer. Wiley, New York, USA. 353–365p.

Jones, HG. 1998. Stomatal control of photosynthesis and transpiration. *Journal of Experimental Botany* 49: 387-398.

Jones HG. and RA. Sutherland. 1991. Stomatal control of xylem embolism. *Plant, Cell and Environment* 11: 111–121.

Lovisol, C. and A. Schubert. 1997. Effects of water stress on vessel size and xylem hydraulic conductivity in *Vitis vinifera* L. *Journal of Experimental Botany* 49:693–700.

Lovisol, C.; W. Hartung and A. Schubert. 2002 Whole-plant hydraulic conductance and root to shoot flow of ABA acid are independently affected by water stress in grapevines. *Functional plant biology* 29: 1349-1356.

Lovisol, C.; I. Perrone; W. Hartung and A. Schubert. 2008 An abscisic acid related reduced transpiration promotes gradual embolism repair when grapevines are rehydrated after drought. *New Phytologist* 180: 642-651.

Marocco, JP.; ML. Rodrigues; C. Lopes; MM. Chaves. 2002. Limitations to leaf photosynthesis in the field – grown grapevine under drought – metabolic and modeling approaches. *Functional Plant Biology* 29: 451-459.

Maseda, P. and R. Fernández. 2006. Stay wet or else: three ways in which plants can adjust hydraulically to their environment. *Journal of Experimental Botany* 57(15): 3963-3977.

McDonald AJS. and WJ. Davies. 1996. Keeping in touch: responses of the whole plant to deficits in water and nitrogen supply. *Advances in Botanical Research* 22: 228-300.

McDowell, NG. 2011. Mechanisms linking drought, hydraulics, carbon metabolism, and vegetation mortality. *Plant Physiol.* 155:1051–1059.

Meyer, WS. and DC. Reicosky. 1985. Enclosing leaves for water potential measurement and its effect on interpreting soil-induced water stress. *Agricultural and Forest Meteorology* 35(1): 187-192.

Nijse, J.; GWAN. Van Der Heijden; W. Van leperen; CJ. Keijzer and Van Maeeteren. 2001. Xylem hydraulic conductivity related to conduit dimensions along chrysanthemum stems. *Journal of Experimental Botany.* Vol. 52. 355: 319 – 327.

ODEPA. 2013. Vides: Superficie y Producción. [en línea]. Lugar de publicación: ODEPA. Recuperado en: < <http://www.odepa.cl/vides-superficie-y-produccion-3/>> Consultado el: 22 de Diciembre, 2014.

Pastenes, C. 2014, Diciembre. Movimiento de agua en Carménère [entrevista personal]. Santiago, Laboratorio Fisiología Estrés Vegetal, Facultad de Ciencias Agronómicas, Universidad de Chile.

Pratt, RB.; AL. Jacobsen; R. Mohla; FW. Ewers and SD. Davis. 2008 Linkage between water stress tolerance and life history type in seedlings of nine chaparral species *Rhamnaceae*. *J Ecol* 96: 1252–1265.

Rogers, A.; DJ. Allen; PA. Davey; PB. Morgan; EA. Ainsworth; CJ. Bernacchi; G. Cornic; O. Dermody; FG. Dohleman; EA. Heaton; J. Mahoney; G. Zhu; EH. Delucia; DR. Ort; SP. Long. 2004. Leaf photosynthesis and carbohydrate dynamics of soybeans grown throughout their life-cycle under free-air carbondioxide enrichment. *Plant Cell Environ.* 27, 449–458.

Rogiers, SY.; DH. Greer; JM. Hatfield; RJ. Hutton; SJ. Clarke; PA. Hutchinson and A. Somers. 2012. Stomatal response of an anisohydric grapevine cultivar to evaporative demand, available soil moisture and abscisic acid. *Tree Physiol* 32: 249- 261.

Salleo, S.; MA. Lo Gullo and F. Oliveri. 1985. Hydraulic parameters measured in 1-year-old twigs of some mediterranean species with diffuse-porous wood: changes in hydraulic conductivity and their possible functional significance. *Journal of Experimental Botany* 36: 1-11.

Scholander, PF.; H.T. Hammel, ED. Bradstreet and EA. Hemmingsen. 1965. Sap pressure in vascular plants. *Science* 148: 339-346.

Schultz, HR. and MA. Matthews. 1997. High vapour pressure deficit exacerbates xylem cavitation and photoinhibition in shade-grown *Piper auritum* H.B. & K. during prolonged sunflecks. I. Dynamics of plant water relations. *Oecologia* 110: 312–319.

Schultz, HR. 2003. Differences in hydraulic architecture account for near-isohydric and

anisohydric behavior of two field-grown *Vitis vinifera* L. cultivars during drought. *Plant, Cell and Environment* 26, 1393–1405.

Souza, CR.; J. Marocco; T. Santos. 2005. Control of stomatal aperture and carbon uptake by deficit irrigation in two grapevine cultivars. *Agriculture Ecosystems and Environments* 106: 261 – 274.

Sperry, JS. 1986 Relationship of xylem embolism to xylem pressure potential, stomatal closure, and shoot morphology in the palm *Rhapis excelsa*. *Plant physiology* 80: 110-116.

Sperry, JS.; JR. Donnelly and MT. Tyree. 1988. A method for measuring hydraulic conductivity and embolism in xylem. *Plant, Cell and Environment* 11: 35 – 40.

Sperry, JS. and MT. Tyree. 1989. Vulnerability of xylem to cavitation and embolism. *Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology* 40: 19 – 38.

Sperry, JS.; UG. Hacke; R. Oren and JP. Comstock. 2002. Water deficits and hydraulic limits to leaf water supply. *Plant, Cell and Environment* 25: 251–263.

Stedle, E. 2001. The cohesion-tension mechanism and the acquisition of water by plant roots. *Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology* 52: 847-875.

Syverssten, JP.; J. Lloyd; C. McConchie; PE. Kriedemann and GD. Farquhar. 1995. On the relationship between leaf anatomy and CO₂ diffusion through the mesophyll of hypostomatous leaves. *Plant, Cell and Environment* 18: 149-157.

Tyree, MT. and JS. Sperry. 1988. Do woody plants operate near the point of catastrophic xylem dysfunction caused by dynamic water stress? *Plant Physiology* 88, 574–580.

Tardieu, F. and T. Simonneau. 1998. Variability among species of stomatal control under fluctuating soil water status and evaporative demand: modeling isohydric and anisohydric behaviours. *Journal of Experimental Botany*. 49, 419-432.

Uribe, J.M.; R. Cabrera; A. De la Fuente y M. Paneque. 2012. [en línea]. Atlas bioclimático de Chile. Recuperado en: <<http://www.uchile.cl/documentos/universidad-de-chile-presenta-el-atlas-bioclimatico-de-chile-09072012-pdf-61kb-82916-7.pdf>> Consultado el: 07 de octubre de 2015.

Ussahatanonta, S.; D. Jackson and R. Rowe. 1996. Effects of nutrient and water stress on vegetative and reproductive growth in *Vitis vinifera* L. *Australian Journal of Grape and Wine Research* 2:64-69.

Van Leeuwen, C.; O. Tregoat; X. Choné; B. Bois; D. Pernet and JP. Gaudillère. 2009. Vine water status is a key factor in grape ripening and vintage quality for red Bordeaux wine. How

can it be assessed for vineyard management purposes? *Journal International des Sciences de la Vigne et du Vin*, 43(3): 121-134.

Winkel, T. and S. Rambal. 1990. Stomatal conductance of some grapevines growing in the field under a Mediterranean environment. *Agricultural and Forest Meteorology* 51(2): 107-121.