



---

**Universidad de Valladolid**  
**Campus de Palencia**

**ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR  
DE INGENIERÍAS AGRARIAS**

**Grado en Enología**

Respuesta de la variedad Tempranillo al  
riego deficitario en la Ribera del Duero,  
considerando la recarga hídrica del suelo  
previa a la brotación: estado hídrico,  
actividad fisiológica, desarrollo y  
composición de la uva

Alumno/a: Araceli Tordera Castro

Tutor/a: Violeta Ruipérez Prádanos  
Director/a: Jesús Yuste Bombín

Julio de 2023

Copia para el tutor/a

## ÍNDICE

<b>Resumen.....</b>	<b>2</b>
<b>Abstract.....</b>	<b>3</b>
<b>1. Introducción.....</b>	<b>4</b>
1.1. Riego deficitario en viñedo.....	4
1.2. Recarga hídrica del perfil del suelo en viñedo.....	5
<b>2. Objetivo.....</b>	<b>7</b>
<b>3. Materiales y métodos.....</b>	<b>8</b>
3.1. Materiales.....	8
3.2. Métodos.....	8
<b>4. Resultados y discusión.....</b>	<b>11</b>
4.1. Riego (con recarga previa del perfil del suelo).....	11
4.2. Recarga hídrica del perfil del suelo (con riego durante el verano).....	17
<b>5. Conclusiones.....</b>	<b>24</b>
<b>Agradecimientos.....</b>	<b>25</b>
<b>Bibliografía.....</b>	<b>26</b>

## RESUMEN

El calentamiento global está llevando a los viticultores con plantaciones en secano a plantearse el empleo de técnicas y estrategias para mitigar el estrés hídrico que sufren las plantas. Entre ellas adquieren enorme consideración las relacionadas con el riego del viñedo. Son varios los estudios que han comparado los efectos hídricos y agronómicos del riego frente al secano, sin embargo, son escasos los existentes sobre los diversos aspectos del mismo en la variedad Tempranillo en la Ribera del Duero. Tampoco han proliferado los estudios sobre el efecto de lluvias previas a la brotación que pueden permitir rellenar el perfil del suelo, aumentando así la disponibilidad teórica de agua para la planta.

En el presente trabajo se ha estudiado, por una parte, cómo influye el riego deficitario en verano sobre aspectos fisiológicos y agronómicos del viñedo y, por otra parte, cómo afecta la recarga hídrica previa del perfil del suelo al comportamiento del viñedo. El estudio se desarrolló en un viñedo de cv. Tempranillo, conducido en espaldera, ubicado en Pesquera de Duero (Valladolid), en la D.O. Ribera del Duero.

Los tratamientos experimentales que se aplicaron fueron: (a) para el estudio de riego deficitario: T0P (no se regó, pero se hizo recarga hídrica del perfil suelo previa a la brotación) y T7P (se regó una vez a la semana en verano, tras haberse hecho recarga hídrica del perfil del suelo previa a la brotación); y (b) para el estudio de recarga hídrica del perfil del suelo: T07 (se regó una vez a la semana, pero sin recarga hídrica previa del suelo) y T7R (se regó una vez a la semana, tras haberse hecho recarga hídrica del suelo previa a la brotación). El diseño experimental consistió en 4 bloques al azar con parcela elemental de 48 cepas.

Los resultados mostraron que el riego deficitario en verano favoreció el estado hídrico y la actividad fisiológica de la planta. Permitted aumentar el área foliar y el desarrollo vegetativo, llegando a alcanzar un 64% más de peso de madera de poda, y obtener mayor producción de uva. También produjo un aumento de algunos compuestos en la baya, como acidez total, ácido málico, azúcares y potasio, reduciendo el pH de la uva.

La recarga hídrica del perfil del suelo apenas tuvo influencia sobre el estado hídrico y la fisiología de la planta, obteniéndose resultados que no difieren apenas respecto a la recarga hídrica previa del suelo. No afectó esencialmente al desarrollo vegetativo y apenas modificó alguno de los componentes del rendimiento, sin afectar prácticamente a la producción de uva. En cuanto a la composición de la uva, el tratamiento en que se recargó el perfil mostró una disminución de acidez total, ácido málico, potasio y polifenoles totales, aunque presentó un ligero aumento del ácido tartárico.

En resumen, la influencia del riego deficitario en verano se ha mostrado claramente más notable que la de la recarga hídrica previa del perfil del suelo. Este estudio permite vislumbrar ciertas posibilidades agronómicas y cualitativas del uso de estas dos estrategias de riego en el viñedo, aunque necesitan mayor profundización de su estudio, a lo largo de varias campañas, como se establece en el propio proyecto de investigación.

**Palabras clave:** composición de la uva, fisiología, intercambio gaseoso, potencial hídrico, recarga hídrica del suelo.

## ABSTRACT

Global warming is leading grapegrowers with rainfed vineyards to consider the use of techniques and strategies to mitigate the water stress suffered by plants. Among them, those related to the irrigation of the vineyard acquire enormous consideration. There are several studies that have compared the hydric and agronomic effects of irrigation against not irrigation, however, there are few existing ones on the various aspects of it in the Tempranillo variety in the Ribera del Duero area. Few studies have proliferated on the effect of rains prior to budbreak that may allow water filling of the soil profile, thus increasing the theoretical availability of water for the plant.

In the present work we have studied, on the one hand, how deficit irrigation in summer influences physiological and agronomic aspects of the vineyard and, on the other hand, how the previous water recharge of the soil profile affects the behavior of the vineyard. The study was carried out in a trellised vineyard of cv. Tempranillo, located in Pesquera de Duero (Valladolid), in the D.O. Ribera del Duero.

The experimental treatments that were applied were: (a) for the deficit irrigation study: T0P (it was not irrigated, but water recharge of the soil profile was carried out before budbreak) and T7P (it was irrigated once a week in summer, after having made water recharge of the soil profile before budbreak); and (b) for the soil profile water recharge study: T07 (irrigated once a week, but without previous soil water recharge) and T7R (irrigated once a week, after water recharge of the soil had been done before budbreak). The experimental design consisted of 4 random blocks with an elemental plot of 48 vines.

The results showed that deficit irrigation in summer favored the water status and physiological activity of the plant. It allowed to increase the leaf area and the vegetative development, reaching 64% more weight in the pruning wood, and allowed to obtain greater grape production. It also produced an increase in some compounds in the berry, such as total acidity, malic acid, sugars and potassium, reducing the pH of the grape.

The water recharge of the soil profile hardly had an influence on the water status and the physiology of the plant, obtaining results that hardly differ with respect to the treatment of non-water recharge of the soil. It did not affect the vegetative development, although the treatment in which the profile was not recharged hardly modified some grape yield components that did not result on higher grape production. Regarding the composition of the grape, the treatment in which the profile was recharged showed a decrease in total acidity, malic acid, potassium and total polyphenols, but light increase in tartaric acid.

In summary, the influence of deficit irrigation in summer has been shown to be clearly more notable than that of the water recharge of the soil profile. This study allows us to estimate certain agronomic and qualitative possibilities of the use of these two irrigation strategies in the vineyard, although they need a deeper study, throughout several campaigns, as established in the research project itself.

**Keywords:** grape composition, physiology, gas exchange, water potential, soil water recharge.

## 1. INTRODUCCIÓN

El viñedo es uno de los cultivos más importantes en el plano económico y el motor de muchas zonas rurales en España, creando empleo y atrayendo turismo tanto nacional como internacional. Dentro de los estados miembros de la UE, España, con el viñedo más grande del mundo, registró una superficie de 955.000 hectáreas en 2022, a pesar de haber disminuido dicha superficie un 0,8% con respecto a 2021. En 2022 España fue el tercer mayor productor de vino del mundo, con una producción estimada en 33,0 Mill. hL. Esta producción, relativamente escasa con respecto a campañas precedentes (-6% con respecto a 2021 y -12% con respecto a la media quinquenal), se explica por la sequía y la falta de recursos hídricos sufridos en numerosas regiones.

En el sector español del vino se ha desarrollado, en las tres últimas décadas, una multiplicación de las Denominaciones de Origen Protegidas (DOP). En concreto, la zona donde se desarrolla este proyecto, la D.O. Ribera del Duero, cuenta con 26.123 hectáreas de viñedo de superficie, distribuidas en 63.630 parcelas, que son cultivadas por cerca de 8.000 viticultores, en un contexto de producción enmarcada entre bajos y moderados rendimientos, que se ven condicionados por el régimen hídrico al que se ven sometidos los viñedos. Así, la producción media en los últimos diez años ha sido estimada en 4.320 kilos por hectárea, muy por debajo de los 7.000 kilogramos que admite la reglamentación vigilada por el Consejo Regulador de la propia D.O.

El viñedo es un cultivo que se adapta bien al clima mediterráneo, con veranos calurosos y secos, razón por la cuál está tan extendido en España, distribuyéndose, no obstante, por diversas zonas, que ofrecen notables diferencias climáticas, las cuales ejercen influencia productiva y cualitativa en la uva de vinificación. Aunque la vid cuente con una buena adaptación a condiciones semi-áridas, en los últimos años ha ido aumentando el viñedo en regadío con el fin de favorecer su rentabilidad y reducir riesgos climáticos. Tanto es así que actualmente el cultivo de la vid en regadío representa el 40% del viñedo en España. Si a estas razones le sumamos el evidente cambio climático que estamos sufriendo, que hará que cambien las condiciones de cultivo y se relajen las prohibiciones de riego en zonas donde aún no se permite, parece más que razonable el estudio de diferentes técnicas de riego que se adapten mejor a distintas condiciones particulares (Gambetta et al., 2020; Santos et al., 2020).

Para la aplicación del riego se siguen diversas estrategias, siendo la más preconizada la del riego deficitario controlado (RDI). En la estrategia de RDI el aporte de agua se reduce o restringe durante periodos específicos del ciclo productivo en los que no se afecta sensiblemente ni a la producción ni a la calidad de la cosecha, pero que produce algún beneficio agronómico como es el control del vigor de las plantas y del tamaño de la baya (Chaves et al., 2007), buscando una repercusión beneficiosa para la calidad de la uva.

### 1.1. Riego deficitario en viñedo

El riego es una herramienta fundamental a tener en cuenta en regiones donde las precipitaciones no son suficientes y el balance hídrico es deficitario, para garantizar un apropiado nivel de producción y calidad de baya. El riego debe ser aplicado con moderación durante la fase de crecimiento herbáceo de la uva para que la disponibilidad de agua no sea excesiva, pero que sea suficiente para la síntesis de sólidos solubles y sustancias fenólicas (Lissarrague, 2012).

La planta manifiesta su vigor a través del desarrollo vegetativo. Diversos estudios han demostrado que cuando las plantas tienen menor disponibilidad de agua se ve reducido el desarrollo de los pámpanos y del área foliar. Esto va ligado a un descenso en la producción de materia seca por dichas plantas (Gómez del Campo et al., 2002; Keller et al., 2005).

Un estrés hídrico elevado como el que se produce en plantas no regadas afecta a la fisiología de la planta, tal y como demostraron Yuste et al. (2021) en un ensayo con cv. Cabernet Sauvignon, donde se observaron valores de potencial hídrico foliar más negativos y de intercambio de gases también menores en las plantas con el tratamiento en seco en comparación con las plantas que se regaron. El menor intercambio gaseoso se explica por una reducción en la conductancia estomática, generando la disminución de la transpiración y una actividad fotosintética menor, que según observó Smart (1974) lleva a un aumento elevado de la temperatura en las hojas.

En general, un aumento del estrés hídrico en la planta afectará a la tasa de cuajado de las flores haciendo que esta se vea dificultada, dando lugar a un menor número de bayas por racimo y un menor peso de éste, provocando una disminución del rendimiento de cosecha (Basile et al., 2012). Si el estrés hídrico se da durante la división celular de las bayas, se verá reducida la producción ya que se reduce el tamaño de la uva. En cambio, si este estrés se da después del envero será menos problemático ya que el crecimiento de la baya es menos dependiente del estrés hídrico en dicho periodo (Keller., 2005).

Una de las mayores preocupaciones a la hora de aplicar riego, o de que llueva, es que esto se produzca en la época de maduración de la uva, ya que se tiene la creencia de que se pueden diluir los componentes que le dan calidad a la uva. Sin embargo, Keller (2005) demostró que tanto el riego por goteo como por surcos, durante esta fase en la que la uva está madurando, no produce una dilución de los compuestos de la uva. En cambio, si el riego se aplica por aspersión o si se producen episodios de lluvia en este periodo de maduración puede llegar a producirse una entrada de agua, ya que la evapotranspiración se puede bloquear, pudiendo verse así perjudicada la calidad de la uva.

En cuanto a la composición de la uva, Yuste et al. (2019) observaron que las plantas con riego aumentan la concentración de los sólidos solubles totales y del ácido málico, y reducen la concentración de ácido tartárico. Son varios los estudios sobre la influencia del riego en la mayor o menor presencia de antocianidinas en las bayas y en ellos se reporta, en general, un resultado positivo cuando el estrés hídrico es leve, ya que se producen cambios en la relación piel/pulpa de las bayas. En cuanto a los taninos, los resultados obtenidos no son concluyentes (Koundouras, 2018). Cuando se analizaron los compuestos aromáticos de la variedad Airén cultivada en La Mancha, en un estudio llevado a cabo por Montoro et al. (2018), en el que se compararon las concentraciones de compuestos aromáticos del tratamiento en seco con tratamientos de riego deficitario, estos compuestos incrementaron su concentración en el tratamiento de seco.

## **1.2. Recarga hídrica del perfil del suelo en viñedo**

La disminución de precipitaciones durante otoño e invierno, las restricciones de agua para riego y el aumento de las temperaturas de los últimos años, están limitando la disponibilidad de agua en el suelo al comienzo del crecimiento de la vid. En climas mediterráneos, las vides dependen de las lluvias invernales para rellenar el perfil del suelo y así almacenar y proporcionar el agua necesaria para las etapas iniciales de desarrollo de la planta, destinando esta agua al crecimiento y el desarrollo de la vid. Sin embargo, sin suficiente agua disponible las plantas experimentan estrés hídrico muy

temprano, afectando a la composición de las bayas, y por lo tanto, a la calidad del vino producido.

Como demostraron Mendez-Costabel et al. (2014), las plantas que en invierno reciben menos lluvia van a ver reducido el tamaño del canopy, aunque se rieguen después durante el verano, lo cual da como resultado una mayor exposición del racimo a la radiación solar.

En un estudio llevado a cabo en Australia por Bonada et al. (2020) se estudió cómo afecta el momento y el método de riego al viñedo. Se excluyeron las lluvias de otoño e invierno utilizando “refugios” para evitar que el agua de las precipitaciones entrase en el viñedo y se compararon estos resultados con los del control, que consistió en dejar que las lluvias de otoño e invierno cayeran con normalidad sobre el viñedo. En primer lugar, se vio que la reducción de agua en el suelo llevó a un retraso en el momento de la brotación.

El control, que proporcionó agua durante el invierno, dio como resultado un mayor rendimiento: mayor número de racimos, con mayor número y tamaño de bayas. Se observó que el potencial hídrico de tallo en el tratamiento control fue menos negativo, sobre todo en el año en el que las precipitaciones anuales fueron mayores, dando lugar a un menor estrés hídrico de la planta.

El planteamiento de la recarga hídrica del perfil del suelo conlleva la conveniencia de considerar distintas posibilidades climáticas y de características de suelo, dado que el conocimiento y, sobre todo, la experiencia cuantitativa que se tiene sobre este aspecto no ha permitido, hasta ahora, profundizar suficientemente en la respuesta productiva y cualitativa del viñedo de una forma amplia y fundamentada.

## 2. OBJETIVO

El objetivo del presente estudio es evaluar la respuesta del viñedo al riego deficitario durante el verano y la recarga hídrica del perfil del suelo antes de la brotación frente a la no recarga del perfil. El estudio se hizo en un viñedo en la Denominación de Origen Ribera del Duero, de cv. Tempranillo, conducido en espaldera con un sistema de poda en cordón Royat bilateral.

El estudio forma parte del proyecto de I+D+i del Ministerio de Ciencia e Innovación, que tiene como título "Gestión hídrica y agronómica anual en variedades tintas de la vid para mejorar su manejo productivo y cualitativo y disminuir los efectos del cambio climático" (*Irrivitis*). En concreto, se trata del subproyecto relativo al cv. Tempranillo, coordinado por el Dr. Jesús Yuste en el ITACyL.

Este subproyecto se desglosa en objetivos más específicos:

-Evaluar cómo influye en el estado hídrico, en la fisiología y en el comportamiento agronómico, la aplicación de riego deficitario semanal durante el verano en cv. Tempranillo.

-Evaluar cómo influye en el desarrollo vegetativo, la aplicación de riego deficitario semanal durante el verano en cv. Tempranillo.

-Evaluar cómo influye en la producción y la composición de la uva, la aplicación de riego deficitario semanal durante el verano en cv. Tempranillo.

-Evaluar cómo influye en el estado hídrico, en la fisiología y en el comportamiento agronómico, la recarga hídrica, previa a la brotación, del perfil del suelo, en cv. Tempranillo.

-Evaluar cómo influye en el desarrollo vegetativo, la recarga hídrica, previa a la brotación, del perfil del suelo, en cv. Tempranillo.

-Evaluar cómo influye en la producción y la composición de la uva, la recarga hídrica, previa a la brotación, del perfil del suelo, en cv. Tempranillo.

### 3. MATERIALES Y MÉTODOS

El trabajo se ha llevado a cabo en el año 2021, enmarcado en un proyecto de I+D+i del Ministerio de Ciencia e Innovación con una duración de tres años (2021-2023).

#### 3.1. Materiales

##### 3.1.1. Localización geográfica

El ensayo experimental se encuentra en el término municipal de Pesquera de Duero, Valladolid (41° 38' 34''N, 4° 9' 27''O), a 747 m de altitud, en un viñedo propiedad de una bodega comercial, perteneciente a la D.O. Ribera del Duero.

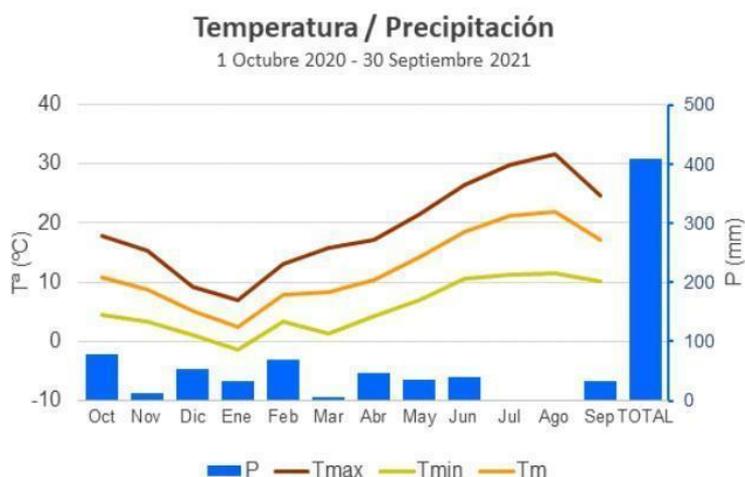
##### 3.1.2. Características del viñedo

El viñedo en el que se realizó el estudio tiene un total de 3,24 ha, aunque para el ensayo se utilizó una superficie de 0,5 ha. El material vegetal empleado es *Vitis vinífera* cv. Tempranillo, sobre portainjerto 110R, plantado en 2006, con un marco de plantación de 3 m x 1,2 m (2.778 plantas/ha) y una orientación de las filas N-S. El sistema de conducción es en espaldera, de 1,70 m de altura, con un sistema de poda en cordón Royat bilateral, con 6 pulgares de 2 yemas por cepa. El *canopy* es guiado por dos pares de alambres móviles, que permiten colocar adecuadamente la vegetación según los pámpanos van aumentando su longitud. El suelo de la parcela es franco arenoso, con una profundidad mayor a 1 m y con una alta capacidad de drenaje.

##### 3.1.3. Características climáticas

La región donde se sitúa el ensayo se caracteriza por tener inviernos largos y fríos y veranos cortos y calurosos, correspondiente a un clima mediterráneo continental.

Los datos climáticos mensuales del ensayo experimental correspondientes al año vitícola del periodo de estudio se muestran en la Figura 1.



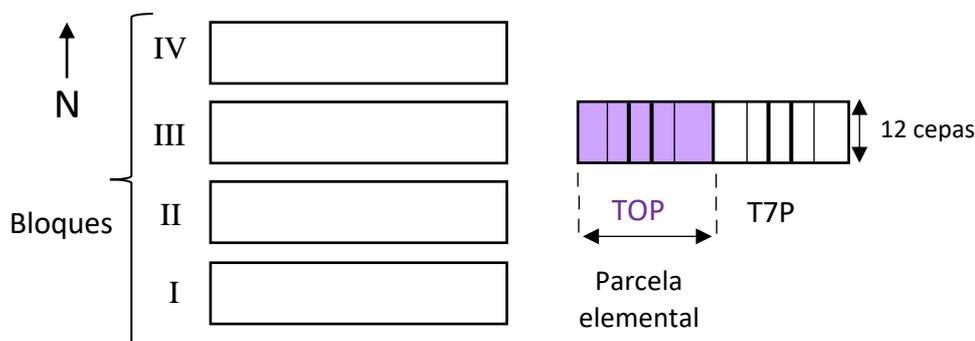
**Figura 1.** Datos meteorológicos mensuales de la campaña 2021 (octubre-2020/septiembre-2021), en Pesquera de Duero (Valladolid). P: precipitación (mm), Tm: temperatura media (°C), Tmax: temperatura máxima (°C), Tmin: temperatura mínima (°C).

#### 3.2. Métodos

##### 3.2.1. Diseño experimental

El trabajo de investigación que se presenta trata de estudiar la influencia que el riego deficitario estival (30% ETo desde tamaño guisante hasta que se recoge la uva) tiene

en el comportamiento del viñedo, así como el efecto de la recarga hídrica del perfil del suelo en fechas previas a la brotación (con posterior riego deficitario durante el verano). El diseño experimental consta de cuatro bloques al azar con parcelas elementales de 48 cepas, o sea, cada tratamiento cuenta con cuatro repeticiones de 48 cepas cada una. Cada parcela elemental tiene dos filas de 12 cepas, adyacentes, de control y una fila de cepas a cada lado para el efecto borde, y así eliminar la posible influencia de las cepas contiguas de otros tratamientos (Figura 2).



**Figura 2.** Diseño experimental: bloques y parcela elemental.

El ensayo experimental comprende el establecimiento de los siguientes tratamientos:

- Riego deficitario: T0P (no se regó, pero se hizo recarga hídrica del perfil del suelo previa a la brotación) y T7P (se regó el 30% ETo una vez a la semana y se hizo recarga hídrica del perfil del suelo previa a la brotación).
- Recarga hídrica del perfil del suelo: T07 (se regó el 30% ETo una vez a la semana, pero sin recarga hídrica previa del suelo) y T7R (se regó una vez a la semana, habiéndose hecho recarga hídrica del suelo previa a la brotación).

Por un lado, se compararon (a) los tratamientos experimentales de no riego y riego, por otro lado (b) se compararon los tratamientos experimentales de riego sin recarga hídrica del perfil y con recarga hídrica del perfil.

El riego se aplicó por goteo semanalmente con una dosis del 30% de la ETo, desde el estado de tamaño guisante hasta la vendimia, todos los martes. A través de la red InfoRiego situada en Valbuena de Duero, se pudieron obtener los datos de la evapotranspiración de referencia (ETo) calculada a través del método Penman-Monteith. Se aplicó un coeficiente de cultivo (Kc) del 30% a la evapotranspiración potencial (ETo), obteniendo el valor de ETc definitivo.

El sistema de goteo consta de dos emisores por planta, a una distancia de 0,6 m y con un caudal de 3,4 L/h. El primer riego se llevó a cabo el 6 de julio del 2021 y el último el 24 de septiembre del 2021, con un total de 126 mm en los tratamientos regados durante el verano.

La recarga del perfil del suelo se hizo aplicando 110 mm de agua en los días previos a la brotación durante 72 horas de riego continuado.

### 3.2.2. Determinaciones experimentales

#### 3.2.2.1. Potencial hídrico foliar y de xilema

Para la determinación del potencial hídrico se empleó una cámara de presión de tipo Scholander. Estas medidas se realizaron dos veces por semana, el día anterior al riego y dos días después del mismo, es decir, lunes y jueves, desde el estado de tamaño guisante hasta la vendimia.

Se hicieron dos tipos de medida de potencial hídrico: potencial hídrico de hoja ( $\Psi_f$ ) y potencial hídrico de xilema ( $\Psi_x$ ). Para ambos casos se emplearon hojas adultas del pámpano principal, sanas y que estuvieran en la parte externa de la vegetación, asegurándonos de que estas hojas estaban en su plena capacidad fotosintética. Para la realización de estas medidas, los días debían estar completamente despejados.

La medida del potencial hídrico de hoja se realizó a las 7 horas solares (hs), en hojas a la sombra, por lo que se utilizó el lado de la espaldera que daba hacia el oeste. Para la medida del potencial hídrico de xilema las hojas a medir se cubrieron con bolsas de papel de aluminio opaco una hora antes de realizar las medidas. En este caso las medidas se hicieron a las 12 horas solares (hs) en el lado de la espaldera que estuviera expuesto al sol, es decir el lado este.

#### 3.2.2.2. Intercambio de gases: conductancia estomática (gs), transpiración (E) y fotosíntesis neta (A)

Para realizar estas medidas se utilizaron hojas que se encontraban en la cara este de la espaldera, es decir que estuvieran expuestas a la radiación solar directa, mediante un analizador de intercambio de gases por infrarrojos (IRGA), Li-6400 *Portable Photosynthesis System* (LI-Cor 6400 Biosciences, Lincoln, Nebraska, U.S.A), con una pinza de medida con ventana de 6 cm<sup>2</sup>. Estas medidas también se realizaron dos veces por semana (lunes y jueves) a las 9 horas solares (hs).

Las hojas a utilizar en estas medidas son similares a las utilizadas para la medida del potencial hídrico de xilema. Dichas medidas solo se realizaron en días despejados.

#### 3.2.2.3. Caracterización de la superficie foliar, desarrollo vegetativo y producción

Las características del *canopy* se determinaron a través de la medida de la superficie foliar externa (SA), y la superficie foliar total o índice de área foliar (LAI, *leaf area index*), siguiendo el método de Carbonneau (1976).

Durante la parada vegetativa, en la poda de invierno, se estimó el desarrollo vegetativo final. Antes de podar se contó el número de sarmientos, posteriormente se pesó la madera de poda y, a partir de ambos datos, se calculó el peso de sarmiento, en cada cepa.

Para estimar la producción de uva se determinó: peso del racimo, número de racimos por cepa, peso de baya, número de bayas por racimo. El bajo rendimiento obtenido en la campaña 2021 se debió al pedrisco que tuvo lugar en la parcela del ensayo el día 31 de mayo de dicho año, produciéndose la pérdida de la mayoría de las inflorescencias existentes.

Para evaluar el equilibrio entre producción y desarrollo vegetativo, de la cepa, se calculó el índice de Ravaz. Este se determina dividiendo la producción de uva entre el peso de madera de poda por cepa.

#### 3.2.2.4. Composición de la uva

Para evaluar la composición final de la uva, a partir del muestreo de bayas en las semanas previas, se analizó la muestra tomada en fecha de vendimia. Las bayas se trituraron y centrifugaron para realizar las siguientes determinaciones analíticas: sólidos solubles totales (°brix) mediante refractometría, pH mediante pH-metro, acidez total mediante volumetría ácido-base, ácido tartárico y ácido málico mediante métodos enzimáticos, potasio mediante fotometría de llama e índice de polifenoles totales mediante la medida de la absorbancia a 280 nm.

#### 3.2.2.5. Análisis estadístico

El análisis estadístico de los datos se hizo a través del análisis de la varianza (ANOVA), mediante el programa estadístico SPSS 16.0.

## 4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 4.1. RIEGO (con recarga previa de perfil del suelo)

#### 4.1.1. Potencial hídrico foliar y de xilema

##### 4.1.1.1. Potencial hídrico foliar

##### Lunes

Los valores de potencial hídrico foliar medido a 7 hs mostraron diferencias estadísticamente significativas favorables a T7P con respecto a TOP (tabla 1). En todos los casos el potencial hídrico de T7P mostró resultados más favorables que el secano a lo largo del ciclo. En T7P, a partir de la segunda semana los valores de potencial hídrico se mantienen casi constantes, aunque a finales de agosto y principios de septiembre se observan valores excepcionalmente algo más bajos. Por lo tanto, en dichas fechas la planta estuvo sometida a un mayor estrés hídrico. En el tratamiento TOP el nivel de estrés hídrico fue mayor, llegándose a alcanzar  $-0,70$  MPa el 30 de agosto.

**Tabla 1.** Potencial hídrico foliar (MPa) a las 7 hs medido los lunes, en los tratamientos de secano (TOP) y riego (T7P). Significación estadística:  $p < 0,05$  (\*).

Tratamiento	$\Psi_f$ - lunes										
	12-jul.	19-jul.	26-jul.	2-ago.	9-ago.	23-ago.	30-ago.	6-sep.	13-sep.	20-sep.	27-sep.
<b>TOP</b>	-0,62	-0,40	-0,42	-0,52	-0,59	-0,49	-0,70	-0,54	-0,63	-0,60	-0,27
<b>T7P</b>	-0,51	-0,36	-0,31	-0,37	-0,39	-0,42	-0,53	-0,41	-0,51	-0,43	-0,13
<b>Media</b>	-0,56	-0,38	-0,37	-0,44	-0,49	-0,45	-0,62	-0,47	-0,57	-0,51	-0,20
<b>P-valor</b>	0,004	0,040	0,009	0,014	0,020	0,156	0,019	0,015	0,008	0,001	0,001
<b>Sig.</b>	*	*	*	*	*	-	*	*	*	*	*

##### Jueves

El potencial hídrico foliar medido a las 7 hs permitió establecer diferencias significativas entre ambos tratamientos en todas las fechas (tabla 2). Al igual que para el potencial hídrico foliar medido el lunes, los valores obtenidos en T7P fueron más altos que en TOP. El valor claramente más bajo, y por lo tanto más desfavorable, para ambos tratamientos se registró el día 23 de septiembre. En la última medida de potencial hídrico se produjo un aumento brusco en ambos tratamientos, encontrándose en una situación en la que la planta apenas sufrió estrés hídrico, posiblemente derivado de lluvias acaecidas en los días previos a la medida.

**Tabla 2.** Potencial hídrico foliar (MPa) a las 7 hs medido los jueves, en los tratamientos de secano (TOP) y riego (T7P). Significación estadística:  $p < 0,05$  (\*).

Tratamiento	$\Psi_f$ - jueves									
	15-jul.	22-jul.	29-jul.	5-ago.	12-ago.	26-ago.	16-sep.	23-sep.	30-sep.	
<b>TOP</b>	-0,45	-0,47	-0,45	-0,58	-0,65	-0,55	-0,41	-0,73	-0,29	
<b>T7P</b>	-0,38	-0,39	-0,33	-0,36	-0,33	-0,35	-0,27	-0,40	-0,15	
<b>Media</b>	-0,42	-0,43	-0,39	-0,47	-0,49	-0,45	-0,34	-0,57	-0,22	
<b>P-valor</b>	0,045	0,007	0,009	0,029	0,000	0,000	0,026	0,000	0,000	
<b>Sig.</b>	*	*	*	*	*	*	*	*	*	

#### 4.1.1.2. Potencial hídrico de xilema

##### Lunes

Los valores de potencial hídrico de xilema, medido a las 12 hs, muestran diferencias estadísticamente significativas entre ambos tratamientos durante todo el periodo de tiempo en que se midió (tabla 3). De nuevo los valores medidos en T0P indican un mayor estrés hídrico que en T7P. A diferencia de lo que pasaba en el potencial hídrico foliar, en este caso los valores de potencial fueron en disminución progresiva hasta llegar a valores de estrés pronunciado a final de agosto con respecto a principios de julio. Se alcanzaron valores de potencial por debajo de -1,20 MPa en el tratamiento de secado a finales del mes de agosto, lo que indica un nivel de estrés hídrico alto.

**Tabla 3.** Potencial hídrico de xilema (MPa) a las 12 hs medido los lunes, en los tratamientos de secado (T0P) y riego (T7P). Significación estadística:  $p < 0,05$  (\*).

Tratamiento	$\Psi_x$ - lunes					
	12-jul.	19-jul.	26-jul.	9-ago.	23-ago.	30-ago.
T0P	-0,64	-0,75	-0,85	-1,09	-1,16	-1,22
T7P	-0,53	-0,60	-0,62	-0,86	-0,91	-0,98
Media	-0,58	-0,67	-0,73	-0,97	-1,03	-1,10
P-valor	0,040	0,039	0,035	0,041	0,012	0,002
Sig.	*	*	*	*	*	*

##### Jueves

El potencial hídrico de xilema, a medida que el ciclo avanzó, permitió discernir estadísticamente entre el tratamiento de riego y el de secado en la mitad de las medidas (tabla 4). Los datos muestran valores más bajos para el tratamiento de secado que para el de riego. Las medidas obtenidas según avanza el ciclo muestran un aumento del estrés hídrico en la planta, excepto a principios del mes de agosto, en que hay una leve recuperación. De nuevo en el tratamiento de secado se observan valores de potencial que están por debajo de -1,20 MPa, a partir de finales de agosto y durante el mes de septiembre, los cuales representan un nivel de estrés hídrico elevado para la planta.

**Tabla 4.** Potencial hídrico de xilema (MPa) a las 12 hs medido los jueves, en los tratamientos de secado (T0P) y riego (T7P). Significación estadística:  $p < 0,05$  (\*).

Tratamiento	$\Psi_x$ - jueves							
	15-jul.	22-jul.	29-jul.	5-ago.	12-ago.	26-ago.	23-sep.	30-sep.
T0P	-0,69	-1,00	-1,04	-0,96	-0,99	-1,29	-1,55	-1,28
T7P	-0,60	-0,93	-0,98	-0,83	-0,96	-1,02	-0,98	-1,02
Media	-0,65	-0,97	-1,01	-0,89	-0,97	-1,16	-1,27	-1,15
P-valor	0,054	0,019	0,454	0,161	0,648	0,006	0,000	0,002
Sig.	-	*	-	-	-	*	*	*

A modo de resumen, el potencial hídrico foliar ha permitido discriminar mejor el estrés hídrico entre ambos tratamientos en la medida de los jueves (dos días después de la aplicación del riego) que en la de los lunes (día inmediatamente anterior al riego).

#### 4.1.2. Intercambio de gases: conductancia estomática, transpiración y fotosíntesis

##### 4.1.2.1. Conductancia estomática

###### Lunes

La conductancia estomática medida a las 9 hs sólo mostró diferencias significativas entre el tratamiento de riego y el de secano en la segunda parte del periodo de medidas, que abarcó los meses de julio y agosto, aunque además el valor registrado el día 9 de agosto muestra diferencia significativa a nivel del 10%, lo que refuerza las diferencias favorables a T7P (tabla 5). A pesar del riego, a medida que avanza el verano los valores medidos van descendiendo respecto a los obtenidos al principio del ciclo. En todo caso, los valores de T7P siempre fueron más altos que los de T0P.

**Tabla 5.** Conductancia estomática ( $\text{mmol.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$ ) medida los lunes a las 9 hs en los tratamientos de secano (T0P) y riego (T7P). Significación estadística:  $p < 0,05$  (\*).

Tratamiento	gs - lunes			
	19-jul.	9-ago.	23-ago.	30-ago.
T0P	140,6	66,8	36,5	24,4
T7P	151,6	109,8	67,2	79,9
Media	146,1	88,3	51,9	52,1
P-valor	0,137	0,078	0,016	0,000
Sig.	-	-	*	*

###### Jueves

Los valores de la conductancia estomática a las 9 hs se diferenciaron significativamente entre tratamientos a partir de la tercera semana de medida, resultando los valores del tratamiento de riego más altos que los del tratamiento de secano, debido a que la mayor disponibilidad de agua facilitó un aumento de su uso.

**Tabla 6.** Conductancia estomática ( $\text{mmol.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$ ) medida los jueves a las 9 hs en los tratamientos de secano (T0P) y riego (T7P). Significación estadística:  $p < 0,05$  (\*).

Tratamiento	gs - jueves						
	15-jul.	22-jul.	5-ago.	12-ago.	26-ago.	23-sep.	30-sep.
T0P	139,3	111,3	71,1	28,0	10,2	16,1	32,1
T7P	140,7	119,8	126,3	95,0	76,8	54,7	76,6
Media	140,0	115,5	98,7	61,5	43,5	35,4	54,3
P-valor	0,895	0,157	0,007	0,000	0,000	0,000	0,001
Sig.	-	-	*	*	*	*	*

##### 4.1.2.2. Transpiración

###### Lunes

La transpiración medida los lunes a las 9 hs permitió diferenciar estadísticamente entre los tratamientos de riego y de secano a partir del día 9 de agosto (tabla 7). Tanto para el tratamiento de riego como para el de secano, la transpiración a lo largo del ciclo mostró una tendencia decreciente, aunque el descenso fue más acusado en el tratamiento de secano debido a la menor cantidad de agua disponible.

**Tabla 7.** Transpiración ( $\text{mmol.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$ ) medida los lunes a las 9 hs en los tratamientos de secano (T0P) y riego (T7P). Significación estadística:  $p < 0,05$  (\*).

Tratamiento	E <sub>11</sub> - lunes			
	19-jul.	9-ago.	23-ago.	30-ago.
T0P	6,34	2,73	1,60	1,48
T7P	6,44	4,77	2,66	3,91
Media	6,39	3,75	2,13	2,69
P-valor	0,439	0,017	0,014	0,000
Sig.	-	*	*	*

### Jueves

Los valores de transpiración, medidos a las 9 hs, de los tratamientos de riego y secano se diferenciaron estadísticamente a partir de principios de agosto (tabla 8). A partir de la segunda semana de medidas los valores tuvieron una tendencia decreciente, siendo mucho más bajos en el tratamiento de secano que en el de riego. A final de septiembre se observó una leve recuperación de los valores de transpiración en ambos tratamientos.

**Tabla 8.** Transpiración ( $\text{mmol.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$ ) medida los jueves a las 9 hs en los tratamientos de secano (T0P) y riego (T7P). Significación estadística:  $p < 0,05$  (\*).

Tratamiento	E - jueves						
	15-jul.	22-jul.	5-ago.	12-ago.	26-ago.	23-sep.	30-sep.
T0P	4,13	5,73	3,18	2,00	0,87	0,66	1,21
T7P	4,07	5,98	4,94	5,27	4,47	1,82	2,86
Media	4,10	5,85	4,06	3,63	2,67	1,24	2,03
P-valor	0,847	0,253	0,012	0,001	0,000	0,000	0,000
Sig.	-	-	*	*	*	*	*

### 4.1.2.3. Fotosíntesis neta

#### Lunes

La fotosíntesis neta medida a las 9 hs mostró diferencias estadísticamente significativas favorables al tratamiento de riego frente al de secano en la segunda mitad del mes de agosto, llegando a diferenciarse además a nivel del 10% en la primera medida de agosto (tabla 9). La tendencia de la fotosíntesis, tanto para T0P como T7P, fue decreciente durante el ciclo, pero este descenso fue mucho más acusado en el tratamiento de secano.

**Tabla 9.** Fotosíntesis neta ( $\mu.\text{mol.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$ ) medida los lunes a las 9 hs en los tratamientos de secano (T0P) y riego (T7P). Significación estadística:  $p < 0,05$  (\*).

Tratamiento	An - lunes			
	19-jul.	9-ago.	23-ago.	30-ago.
T0P	22,9	15,6	10,7	7,4
T7P	25,2	22,4	17,4	18,3
Media	24,1	19,0	14,0	12,8
P-valor	0,107	0,082	0,004	0,001
Sig.	-	-	*	*

## Jueves

Los tratamientos de riego y de seco se pudieron diferenciar significativamente a partir del mes de agosto hasta final de septiembre en sentido favorable a T7P (tabla 10). La fotosíntesis neta medida a lo largo del ciclo mostró una tendencia decreciente. A final de agosto el tratamiento de seco mostró el valor más bajo, debido posiblemente a unas condiciones meteorológicas poco favorables. Los valores fueron diferenciándose progresivamente a favor de T7P a lo largo del ciclo.

**Tabla 10.** Fotosíntesis neta ( $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ ) medida los jueves a las 9 hs en los tratamientos de seco (T0P) y riego (T7P). Significación estadística:  $p < 0,05$  (\*).

Tratamiento	An - jueves						
	15-jul.	22-jul.	5-ago.	12-ago.	26-ago.	23-sep.	30-sep.
<b>T0P</b>	17,8	23,9	17,9	13,4	5,4	7,0	9,5
<b>T7P</b>	20,3	25,6	23,9	22,5	18,7	14,2	16,0
<b>Media</b>	19,1	24,8	20,9	17,9	12,0	10,6	12,8
<b>P-valor</b>	0,007	0,202	0,030	0,000	0,000	0,000	0,004
<b>Sig.</b>	*	-	*	*	*	*	*

### 4.1.3. Desarrollo vegetativo

#### 4.1.3.1. Superficie foliar

La superficie foliar total y la superficie externa mostraron diferencias estadísticamente significativas entre ambos tratamientos (tabla 11). Los valores referentes al tratamiento de riego fueron mayores que los de seco, sobre todo en cuanto a LAI, que aumentó un 40% con respecto al de seco. La superficie foliar externa aumentó un 15% a favor del T7P con respecto a T0P.

**Tabla 11.** Índice de área foliar (LAI) y de superficie foliar externa (SA). Tratamientos de seco (T0P) y riego (T7P). Significación estadística:  $p < 0,05$  (\*).

Tratamiento	LAI	SA
<b>T0P</b>	1,60	0,94
<b>T7P</b>	2,25	1,08
<b>Media</b>	1,93	1,01
<b>P-valor</b>	0,000	0,005
<b>Sig.</b>	*	*

#### 4.1.3.2. Madera de poda

La madera de poda mostró diferencias estadísticamente significativas entre los tratamientos de riego y seco (tabla 12). Se observó un aumento claro en el peso de madera de poda y del sarmiento en el tratamiento de riego con respecto al seco, correspondiéndose además con un mayor número de sarmientos. El aumento del peso de madera de poda debido al riego fue del 68%, mientras que el peso del sarmiento aumentó un 37% con respecto al seco.

**Tabla 12.** Número de sarmientos, Peso de Madera de poda ( $\text{g. cepa}^{-1}$ ), Peso del Sarmiento (g), Madera de Poda ( $\text{t/ha}$ ), Índice de Ravaz. Tratamientos de secano (T0P) y riego (T7P). Significación estadística:  $p < 0,05$  (\*).

Tratamiento	Nº sarmientos	Peso Madera	Peso Sarmiento	Madera poda	Índice Ravaz
T0P	19,0	550,7	29,1	1,53	0,48
T7P	23,2	925,5	40,0	2,57	0,71
Media	21,1	738,1	34,5	2,1	0,59
P-valor	0,000	0,000	0,001	0,000	0,048
Sig.	*	*	*	*	*

#### 4.1.4. Producción de uva

Los parámetros de producción también mostraron diferencias estadísticamente significativas entre los tratamientos de riego y secano (tabla 13). Se observó un mayor número de racimos por cepa, un mayor peso de racimo y de la baya a favor del aporte hídrico. El aumento de rendimiento debido al riego fue del 147% y el de la producción fue del 150%. El bajo rendimiento obtenido fue debido al pedrisco que tuvo lugar en la parcela donde se realizó el ensayo el 31 de mayo de 2021. Se destruyeron la mayor parte de las inflorescencias, reduciendo la fertilidad y por tanto la producción de uva.

**Tabla 13.** Número de racimos por cepa, Producción de uva ( $\text{kg. cepa}^{-1}$ ), Peso de racimo (g), Peso de baya (g), Nº de bayas por racimo, Rendimiento ( $\text{t. ha}^{-1}$ ). Tratamientos de secano (T0P) y riego (T7P). Significación estadística:  $p < 0,05$  (\*).

Tratamiento	Racimos /cepa	Producción	Peso de racimo	Peso de baya	Nº bayas /racimo	Rdto.
T0P	5,1	0,26	51,5	1,07	47,9	0,73
T7P	8,1	0,65	80,2	1,48	54,4	1,81
Media	6,6	0,46	65,8	1,27	51,14	1,27
P-valor	0,015	0,002	0,000	0,000	0,035	0,001
Sig.	*	*	*	*	*	*

#### 4.1.5. Composición de la uva

La composición de la uva presentó diferencias estadísticamente significativas entre los tratamientos de riego y de secano en algunos de los parámetros analizados (tabla 14). El pH fue significativamente mayor en el tratamiento de secano. La acidez total y el ácido málico fueron significativamente más altos en T7P. El ácido tartárico se mantuvo prácticamente igual en ambos tratamientos. Los azúcares y el potasio mostraron valores más elevados en T7P, sin llegar a alcanzar diferencias estadísticamente significativas, mientras que el IPT mostró la tendencia contraria, favorable al T0P, sin llegar a ser significativa con respecto a T7P.

**Tabla 14.** Concentración de azúcares (°brix), pH, Acidez total (g/LTH<sub>2</sub>), Ácido tartárico (g/L), Ácido málico (g/L), Potasio (mg/L), Índice de Polifenoles Totales (IPT). Tratamientos de secano (T0P) y riego (T7P). Significación estadística: p<0,05 (\*).

Tratamiento	Azúcares	pH	Ac. Total	Ac. Tartárico	Ac. Málico	Potasio	IPT
T0P	22,6	3,42	7,24	5,04	4,33	1913	30
T7P	23,0	3,26	9,87	5,03	6,73	1975	26
Media	22,8	3,34	8,55	5,04	5,53	1944	28
P-valor	0,403	0,001	0,001	0,954	0,000	0,550	0,550
Sig.	-	*	*	-	*	-	-

## 4.2. RECARGA hídrica del perfil del suelo (con riego durante el verano)

### 4.2.1. Potencial hídrico foliar y de xilema

#### 4.2.1.1. Potencial hídrico foliar

##### Lunes

El potencial hídrico foliar medido a las 7 hs no mostró diferencias estadísticamente significativas entre el tratamiento de recarga y el de no recarga previa del perfil del suelo a lo largo del ciclo (tabla 15). En los meses de agosto y septiembre los valores medidos fueron más bajos que los obtenidos en julio, para finalmente terminar con un valor de potencial asociado a un bajo estrés hídrico. Las diferencias fueron estadísticamente significativas a nivel de 10% en los días 26 de julio y 30 de agosto, en favor del tratamiento T07.

**Tabla 15.** Potencial hídrico foliar (MPa) a las 7 hs medido los lunes, en los tratamientos de no recarga y recarga previa del perfil: T07 y T7R. Significación estadística: p<0,05 (\*).

Tratamiento	$\Psi_f$ - lunes											
	12- jul.	19- jul.	26- jul.	2- ago.	9- ago.	23- ago.	30- ago.	6- sep.	13- sep.	20- sep.	27- sep.	
T07	-0,52	-0,34	-0,26	-0,35	-0,36	-0,39	-0,46	-0,38	-0,48	-0,41	-0,11	
T7R	-0,51	-0,36	-0,31	-0,37	-0,39	-0,42	-0,53	-0,41	-0,51	-0,43	-0,13	
Media	-0,51	-0,35	-0,29	-0,36	-0,37	-0,40	-0,50	-0,39	-0,49	-0,42	-0,12	
P-valor	0,646	0,356	0,098	0,677	0,486	0,566	0,081	0,254	0,353	0,473	0,153	
Sig.	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	

##### Jueves

No se encontraron diferencias estadísticamente significativas entre tratamientos en las medidas del potencial hídrico foliar realizadas a las 7 hs (tabla 16), aunque el día 12 de agosto las diferencias fueron estadísticamente significativas a nivel del 10%. Se observó una tendencia decreciente en los valores de potencial hídrico a partir de la segunda semana de medidas. Los valores medidos a lo largo del ciclo no mostraron una tendencia definida entre tratamientos, pero se inclinaron hacia una leve disminución en T7R, con respecto a T07.

**Tabla 16.** Potencial hídrico foliar (MPa) a las 7 hs medido los jueves, en los tratamientos de no recarga y recarga previa del perfil: T07 y T7R. Significación estadística:  $p < 0,05$  (\*).

Tratamiento	$\Psi_f$ - jueves								
	15-jul.	22-jul.	29-jul.	5-ago.	12-ago.	26-ago.	16-sep.	23-sep.	30-sep.
T07	-0,36	-0,41	-0,29	-0,32	-0,29	-0,36	-0,27	-0,37	-0,13
T7R	-0,38	-0,39	-0,33	-0,36	-0,33	-0,35	-0,27	-0,40	-0,15
Media	-0,37	-0,40	-0,31	-0,34	-0,31	-0,35	-0,27	-0,39	-0,14
P-valor	0,614	0,273	0,007	0,108	0,064	0,750	0,949	0,445	0,276
Sig.	-	-	*	-	-	-	-	-	-

#### 4.2.1.2. Potencial hídrico de xilema

##### Lunes

El potencial hídrico de xilema medido a las 12 hs presentó una tendencia descendente a lo largo del ciclo, lo que indicó una intensificación del estrés hídrico en la planta (tabla 17). En general, no se encontraron diferencias estadísticamente significativas entre ambos tratamientos, aunque el 19 de julio las diferencias resultaron significativamente favorables a T07, probablemente debido a unas condiciones meteorológicas desfavorables en dicho día de medida.

**Tabla 17.** Potencial hídrico de xilema (MPa) a las 12 hs medido los lunes, en los tratamientos de no recarga y recarga previa del perfil: T07 y T7R. Significación estadística:  $p < 0,05$  (\*).

Tratamiento	$\Psi_x$ - lunes					
	12-jul.	19-jul.	26-jul.	9-ago.	23-ago.	30-ago.
T07	-0,55	-0,47	-0,60	-0,80	-0,93	-0,92
T7R	-0,53	-0,60	-0,62	-0,86	-0,91	-0,98
Media	-0,54	-0,54	-0,61	-0,83	-0,92	-0,95
P-valor	0,641	0,039	0,734	0,481	0,758	0,275
Sig.	-	*	-	-	-	-

##### Jueves

No se han encontrado diferencias estadísticamente significativas entre el tratamiento de recarga y el de no recarga previa del perfil del suelo en general (tabla 18). Las medidas mostraron una tendencia creciente de estrés hídrico a lo largo del ciclo, llegando hasta el valor de -1,16 MPa el 26 de agosto en T07. Hubo diferencias estadísticamente significativas a nivel del 10% los días 22 de julio y 26 de agosto, pero de tendencia contraria entre T07 y T7R.

**Tabla 18.** Potencial hídrico de xilema (MPa) a las 12 hs medido los jueves, en los tratamientos de no recarga y recarga previa del perfil: T07 y T7R. Significación estadística:  $p < 0,05$  (\*).

Tratamiento	$\Psi_{14x}$ - jueves							
	15-jul.	22-jul.	29-jul.	5-ago.	12-ago.	26-ago.	23-sep.	30-sep.
T07	-0,56	-0,88	-0,93	-0,70	-0,89	-1,16	-0,97	-1,01
T7R	-0,60	-0,93	-0,98	-0,83	-0,96	-1,02	-0,98	-1,02
Media	-0,58	-0,91	-0,96	-0,76	-0,92	-1,09	-0,98	-1,01
P-valor	0,249	0,097	0,485	0,144	0,430	0,085	0,915	0,550
Sig.	-	-	-	-	-	-	-	-

A modo de resumen, ni el potencial hídrico foliar ni el de xilema han permitido discriminar claramente el estrés hídrico soportado por ambos tratamientos.

#### 4.2.2. Intercambio de gases: conductancia estomática, transpiración y fotosíntesis

##### 4.2.2.1. Conductancia estomática

###### Lunes

La conductancia estomática medida a las 9 hs no permitió en general diferenciar estadísticamente entre ambos tratamientos (tabla 19). Los valores obtenidos en el tratamiento en que no se recargó el perfil son ligeramente mayores que los del tratamiento en que se recargó el perfil, llegando a diferenciarse estadísticamente el 9 de agosto. El día 23 de agosto se obtuvo el valor más bajo del periodo de medidas, lo que pudo deberse a unas peores condiciones ambientales que dificultaron la conductancia estomática.

**Tabla 19.** Conductancia estomática ( $\text{mmol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ ) medida los lunes a las 9 hs en los tratamientos de no recarga y recarga previa del perfil: T07 y T7R. Significación estadística:  $p < 0,05$  (\*).

Tratamiento	gs - lunes			
	19-jul.	9-ago.	23-ago.	30-ago.
T07	152,6	132,1	71,7	96,8
T7R	151,6	109,8	67,2	79,9
Media	152,1	120,9	69,5	88,4
P-valor	0,839	0,014	0,651	0,116
Sig.	-	*	-	-

###### Jueves

Los valores de conductancia estomática medidos a las 9 hs no permitieron diferenciar significativamente entre el tratamiento de recarga y el de no recarga previa del perfil de suelo (tabla 20). De nuevo, los valores de T07 fueron ligeramente superiores a los del tratamiento en que se recargó el perfil. Se pudo observar que, en ambos tratamientos, los valores fueron decreciendo a medida que avanza el ciclo, lo que indicó una menor capacidad de uso del agua por parte de las plantas.

**Tabla 20.** Conductancia estomática ( $\text{mmol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ ) medida los jueves a las 9 hs en los tratamientos de no recarga y recarga previa del perfil: T07 y T7R. Significación estadística:  $p < 0,05$  (\*).

Tratamiento	gs- jueves						
	15-jul.	22-jul.	5-ago.	12-ago.	26-ago.	23-sep.	30-sep.
T07	150,3	123,8	139,8	95,4	91,5	63,8	79,6
T7R	140,7	119,8	126,3	95,0	76,8	54,7	76,6
Media	145,5	121,8	133,0	95,2	84,2	59,3	78,1
P-valor	0,366	0,331	0,067	0,945	0,249	0,216	0,782
Sig.	-	-	-	-	-	-	-

#### 4.2.2.2. Transpiración

##### Lunes

Los valores de transpiración medidos a las 9 hs no permitieron en general diferenciar estadísticamente entre el tratamiento con recarga y el tratamiento sin recarga previa del perfil del suelo (tabla 21), aunque el 30 de agosto el valor de T07 fue significativamente mayor que el de T7R. En ambos tratamientos los valores fueron decreciendo a lo largo del ciclo, siendo la medida más baja para ambos el 23 de agosto, lo que pudo deberse a unas condiciones ambientales desfavorables del día de medida.

**Tabla 21.** Transpiración ( $\text{mmol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ ) medida los lunes a las 9 hs en los tratamientos de no recarga y recarga previa del perfil: T0P y T7R. Significación estadística:  $p < 0,05$  (\*).

Tratamiento	E - lunes			
	19-jul.	9-ago.	23-ago.	30-ago.
T07	6,34	5,12	2,74	4,13
T7R	6,44	4,77	2,66	3,91
Media	6,39	4,95	2,70	4,02
P-valor	0,581	0,256	0,747	0,043
Sig.	-	-	-	*

##### Jueves

No se pudieron diferenciar estadísticamente los valores de transpiración medidos a 9 hs entre el tratamiento con recarga y el tratamiento sin recarga previa del perfil (tabla 22). Solamente el día 5 de agosto se encontraron diferencias significativas favorables al tratamiento T07 a nivel del 10%. La transpiración medida mostró una tendencia irregular en su evolución durante el ciclo, dependiente de las condiciones del día de medida. Finalmente, en septiembre los valores fueron muy inferiores a los de las medidas anteriores.

**Tabla 22.** Transpiración ( $\text{mmol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ ) medida los jueves a las 9hs en los tratamientos de no recarga y recarga previa del perfil: T0P y T7R. Significación estadística:  $p < 0,05$  (\*).

Tratamiento	E - jueves						
	15-jul.	22-jul.	5-ago.	12-ago.	26-ago.	23-sep.	30-sep.
T07	4,29	6,11	5,28	4,97	5,13	2,03	2,79
T7R	4,07	5,98	4,94	5,27	4,47	1,82	2,86
Media	4,18	6,04	5,11	5,12	4,80	1,92	2,82
P-valor	0,451	0,320	0,055	0,318	0,209	0,379	0,848
Sig.	-	-	-	-	-	-	-

#### 4.2.2.3. Fotosíntesis neta

##### Lunes

Los valores de fotosíntesis neta medidos a las 9 hs no permitieron diferenciar entre el tratamiento con recarga y el tratamiento sin recarga previa del perfil del suelo (tabla 23). En ambos tratamientos la tendencia durante el ciclo fue descendente, con muy escasas diferencias entre T07 y T7R.

**Tabla 23.** Fotosíntesis neta ( $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ ) medida los lunes a las 9 hs en los tratamientos de recarga y no recarga previa del perfil: T07 y T7R. Significación estadística:  $p < 0,05$  (\*).

Tratamiento	An <sub>11</sub> - lunes			
	19-jul.	9-ago.	23-ago.	30-ago.
T07	25,7	25,1	18,7	18,9
T7R	25,2	22,4	17,4	18,3
Media	25,4	23,7	18,1	18,6
P-valor	0,736	0,116	0,386	0,689
Sig.	-	-	-	-

### Jueves

Los valores de fotosíntesis neta medidos a las 9 hs no permitieron establecer diferencias significativas entre el tratamiento con recarga y sin recarga previa del perfil del suelo (tabla 24). A partir de la segunda semana de medida, la tendencia de la fotosíntesis fue descendente, hasta situarse en los niveles más bajos en septiembre. Los valores medidos fueron muy similares en ambos tratamientos a lo largo del ciclo. Solamente el 5 de agosto el tratamiento T07 pudo diferenciarse estadísticamente a nivel de 10% con respecto al T7R.

**Tabla 24.** Fotosíntesis neta ( $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ ) medida los jueves a las 9 hs en los tratamientos de no recarga y recarga previa del perfil: T07 y T7R. Significación estadística:  $p < 0,05$  (\*).

Tratamiento	An- jueves						
	15-jul.	22-jul.	5-ago.	12-ago.	26-ago.	23-sep.	30-sep.
T07	20,6	25,8	25,4	22,7	20,2	15,2	16,0
T7R	20,3	25,6	23,9	22,5	18,7	14,2	16,0
Media	20,4	25,7	24,7	22,6	19,5	14,7	16,0
P-valor	0,601	0,789	0,062	0,899	0,363	0,106	0,992
Sig.	-	-	-	-	-	-	-

## 4.2.3. Desarrollo vegetativo

### 4.2.3.1. Superficie foliar

No se encontraron diferencias estadísticamente significativas entre tratamientos en las medidas del índice foliar total y del índice foliar externo (tabla 25), pues los valores de ambos índices fueron muy similares en ambos tratamientos. El índice de área foliar fue un 3,6% mayor en el tratamiento T7R mientras que el índice de superficie foliar externa fue un 2% mayor en el tratamiento T07, en el que no se recargó el perfil del suelo.

**Tabla 25.** Índice de área foliar total (LAI) y de superficie foliar externa (SA). Tratamientos de no recarga y recarga previa del perfil: T07 y T7R. Significación estadística:  $p < 0,05$  (\*).

Tratamiento	LAI	SA
T07	2,17	1,10
T7R	2,25	1,08
Media	2,21	1,09
P-valor	0,139	0,482
Sig.	-	-

#### 4.2.3.2. Madera de poda

El peso de madera de poda no mostró diferencias estadísticamente significativas entre el tratamiento con recarga y el tratamiento sin recarga previa del perfil del suelo (tabla 26). No obstante, el peso del sarmiento fue significativamente mayor en T07, lo que contribuyó ligeramente al aumento del peso de madera de poda, mientras que el número de sarmientos fue significativamente mayor en T7R. El aumento del número total de sarmientos debido a la recarga del perfil del suelo fue del 23%, mientras que la reducción del peso del sarmiento fue del 20% con respecto a T07. El valor del peso de madera de poda fue muy similar en ambos tratamientos, aunque levemente mayor en el T07, en correspondencia con el mayor peso del sarmiento.

**Tabla 26.** Número de sarmientos, Peso de Madera de poda (g. cepa<sup>-1</sup>), Peso del Sarmiento (g), Madera de Poda (t/ha), Índice de Ravaz. Tratamientos de no recarga y recarga previa del perfil: T07 y T7R. Significación estadística: p<0,05 (\*).

Tratamiento	Nº sarmientos	Peso Madera	Peso Sarmiento	Madera poda	Índice Ravaz
T07	18,8	942,8	50,3	2,62	0,71
T7R	23,2	925,5	40,0	2,57	0,71
Media	21,0	934,1	45,2	2,6	0,71
P-valor	0,000	0,728	0,003	0,715	0,981
Sig.	*	-	*	-	-

#### 4.2.4. Producción de uva

Los parámetros de producción medidos no permitieron en general diferenciar significativamente entre ambos tratamientos (tabla 27). Se observó mayor número de racimos y peso de baya en el tratamiento T7R, en que se recargó previamente el perfil, mientras que el peso del racimo y el número de bayas/racimo fueron significativamente mayores en el tratamiento T07, sin recarga hídrica del perfil del suelo. El bajo rendimiento obtenido fue debido al pedrisco que tuvo lugar el 31 de mayo de 2021 en la parcela de ensayo, el cual destruyó la mayor parte de las inflorescencias, reduciendo la fertilidad y, por tanto, la producción de uva.

**Tabla 27.** Número de racimos por cepa, Producción de uva (kg. cepa<sup>-1</sup>), Peso de racimo (g), Peso de baya (g), Nº de bayas por racimo, Rendimiento (t. ha<sup>-1</sup>). Tratamientos de no recarga y recarga previa del perfil: T07 y T7R. Significación estadística: p<0,05 (\*).

Tratamiento	Racimos /cepa	Producción	Peso de racimo	Peso de baya	Nº bayas /racimo	Rdto.
T07	7,7	0,67	87,9	1,41	62,3	1,87
T7R	8,1	0,65	80,2	1,48	54,4	1,81
Media	7,9	0,66	84,0	1,44	58,33	1,84
P-valor	0,663	0,809	0,030	0,142	0,010	0,824
Sig.	-	-	*	-	*	-

#### 4.2.5. Composición de la uva

Los parámetros de composición de la uva medidos establecieron diferencias entre ambos tratamientos que solo fueron estadísticamente significativos para el potasio y el contenido de polifenoles totales a favor del T07 (tabla 28). La acidez total y el ácido

málico fueron ligeramente mayores en el T07 que en el T7R. Los azúcares, el pH y el ácido tartárico fueron muy similares en ambos tratamientos.

**Tabla 28.** Concentración de azúcares (°brix), pH, Acidez total (g/LTH<sub>2</sub>), Ácido tartárico (g/L), Ácido málico (g/L), Potasio (mg/L), Índice de Polifenoles Totales (IPT). Tratamientos de no recarga y recarga previa del perfil: T07 y T7R. Significación estadística: p<0,05 (\*).

<b>Tratamiento</b>	<b>Azúcares</b>	<b>pH</b>	<b>Ac. Total</b>	<b>Ac. Tartárico</b>	<b>Ac. Málico</b>	<b>Potasio</b>	<b>IPT</b>
<b>T07</b>	22,9	3,31	10,38	4,98	7,30	2140	27
<b>T7R</b>	23,0	3,26	9,87	5,03	6,73	1975	26
<b>Media</b>	22,9	3,29	10,12	5,01	7,02	2058	26
<b>P-valor</b>	0,790	0,260	0,378	0,405	0,189	0,025	0,025
<b>Sig.</b>	-	-	-	-	-	*	*

## 5. CONCLUSIONES

El aporte hídrico deficitario (30% ETo) durante el verano generó diferencias significativas en cuanto a potencial hídrico foliar y de xilema con respecto a las plantas que no se regaron. Sin embargo, el tratamiento de recarga hídrica previa del perfil del suelo mostró valores de potencial hídrico muy similares al tratamiento sin recarga previa.

El intercambio gaseoso se vio reducido progresivamente de forma general a lo largo del verano, lo que indica un descenso en la capacidad del uso de agua por la planta, con mayor notoriedad en el tratamiento de secano que en el regado. La transpiración y la fotosíntesis neta se vieron favorecidas por el aporte hídrico frente al secano. La recarga hídrica previa del suelo no tuvo influencia sobre el intercambio gaseoso, ni sobre la transpiración ni sobre la fotosíntesis, que mostraron una tendencia irregular, viéndose afectada su medida, en algunos casos, por condiciones ambientales desfavorables.

El índice de área foliar y la superficie foliar externa mostraron valores mucho más altos en el tratamiento de riego que en el de secano. En cambio, los valores fueron muy similares cuando se compara la recarga y la no recarga hídrica previa del perfil del suelo.

El desarrollo vegetativo de la planta se vio claramente favorecido por el aporte deficitario de riego, llegando a aumentar un 64% el peso de la madera de poda y un 37% el peso del sarmiento respecto al secano. En cambio, aunque la recarga hídrica previa del perfil aumentó el número de sarmientos en un 23%, no lo hizo el peso de estos, que se redujo un 20%, por lo que no se tradujo en un aumento del peso de la madera de poda.

La producción de uva mostró diferencias significativas favorables al tratamiento con aporte hídrico frente al secano. Así, dicho tratamiento alcanzó mayor peso de racimo y de baya, dando como resultado mayor producción y rendimiento. Por otro lado, la recarga hídrica previa del perfil del suelo, en general, casi no afectó a la producción de uva, observándose incluso mayor número de bayas y mayor peso de racimo cuando no se recargó el perfil, con un número de racimos ligeramente menor que en el tratamiento recargado, de forma que apenas modificó la producción final de uva.

En cuanto a la composición de la uva, ésta se vio afectada por el régimen hídrico en verano, haciendo que el pH fuera superior en el tratamiento de secano, mientras que la acidez total, el ácido málico, los azúcares y el potasio fueron superiores en el tratamiento de riego. El ácido tartárico no se vio afectado por el aporte hídrico. La recarga hídrica previa del perfil del suelo tuvo influencia negativa sobre la acidez total, el ácido málico, el potasio y el índice de polifenoles, aunque mostró un valor ligeramente mayor de ácido tartárico que el tratamiento en que no se recargó el perfil previamente a la brotación.

En definitiva, el riego deficitario benefició el estado hídrico y la actividad fisiológica de la planta, facilitó el desarrollo vegetativo y productivo y favoreció la acumulación de azúcares y potasio y la acidez de la uva. Sin embargo, la recarga hídrica apenas tuvo influencia sobre el estado hídrico y la fisiología de la planta, ni afectó prácticamente a la producción de uva, aunque favoreció la producción de algunos compuestos en la baya, como la acidez total y el ácido málico, así como el contenido en potasio y el IPT.

En resumen, la influencia del riego deficitario en verano se ha mostrado claramente más notable que la de la recarga hídrica previa del perfil del suelo. Este resultado probablemente se encuentre condicionado por la limitación de almacenamiento de agua de los diversos horizontes del perfil del suelo del ensayo. Los resultados observados hacen convenientes la profundización y la extensión del estudio a lo largo de varias campañas, como contempla el propio proyecto hasta final de 2023.

## **AGRADECIMIENTOS**

El trabajo de Fin de Grado se ha realizado en el marco del proyecto *Irrivitis* (PID2019-105039RR-C42), financiado por el Ministerio de Ciencia e Innovación. Quiero agradecer en especial a mi director del proyecto, Jesús Yuste Bombín, por darme la oportunidad de realizar este TFG y su apoyo en todo momento, y a mi tutora Violeta Ruipérez Prádanos, por el apoyo recibido. Quiero agradecer también la ayuda recibida por el equipo de viticultura del ITACyL, especialmente a Daniel Martínez Porro.

## BIBLIOGRAFÍA

- Basile, B., Girona, J., Behboudian, M. H., Mata, M., Rosello, J., Ferré, M., Marsal, J. (2012). Responses of “Chardonnay” to deficit irrigation applied at different phenological stages: vine growth, must composition, and wine quality. *Irrigation Science*, 30, 397-406.
- Bonada, M., Edwards, E. J., McCarthy, M. G., Sepúlveda, G. C., Petrie, P. R. (2020). Impact of low rainfall during dormancy on vine productivity and development. *Australian Journal of Grape and Wine Research*, 26(4), 325-342.
- Carbonneau, A. (1976). Principes et methodes de mesure de la surface foliaire: Essai de caracterisation des types de feuilles dans le genre *Vitis*. Ann. Amelior. *Plantes*, 2, 327-343.
- Chaves, M. M., Santos, T. P., Souza, C. D., Ortuño, M. F., Rodrigues, M. L., Lopes, C. M., Pereira, J. S. (2007). Deficit irrigation in grapevine improves water-use efficiency while controlling vigour and production quality. *Annals of applied biology*, 150(2), 237-252.
- Gambetta, G. A., Herrera, J. C., Dayer, S., Feng, Q., Hochberg, U., Castellarin, S. D. (2020). The physiology of drought stress in grapevine: towards an integrative definition of drought tolerance. *Journal of experimental botany*, 71(16), 4658-4676.
- Gómez-del-Campo, M., Ruiz, C., Lissarrague, J. R. (2002). Effect of water stress on leaf area development, photosynthesis, and productivity in Chardonnay and Airén grapevines. *American Journal of Enology and Viticulture*, 53(2), 138-143.
- Keller, M. (2005). Deficit irrigation and vine mineral nutrition. *American Journal of Enology and Viticulture*, 56(3), 267-283.
- Keller, M., Mills, L. J., Wample, R. L., Spayd, S. E. (2005). Cluster thinning effects on three deficit-irrigated *Vitis vinifera* cultivars. *American Journal of Enology and Viticulture*, 56(2), 91-103.
- Koundouras, S. (2018). Environmental and viticultural effects on grape composition and wine sensory properties. *Elements*, 14 (3), 173–178.
- Lissarrague García-Gutiérrez, J. R. (2012). Consecuencias del déficit hídrico en viñedos de zonas cálidas y estrategias de riego en función de los objetivos de la producción de uva. En: "III Jornadas de Riego y Nutrición: vid y olivar", Guadajira (Badajoz).
- Mendez-Costabel, M.P., Wilkinson, K.L., Bastian, S.E.P., Jordans, C., McCarthy, M.G., Ford, C.M., Dokoozlian, N.K. (2014). Effect of winter rainfall on yield components and fruit green aromas of *Vitis vinifera* L. cv. Merlot in California. *Australian Journal of Grape and Wine Research*, 20, 100–110.
- Montoro, A., Torija, I., Mañas, F., Valdés, E., Martínez, J., Vilanova, M. (2018). Respuesta productiva, cualitativa y medioambiental del riego frente al seco en la variedad Airén en Castilla-La Mancha. *Actas de Horticultura*, 81, 67-71.
- Santos, J. A., Fraga, H., Malheiro, A. C., Moutinho-Pereira, J., Dinis, L. T., Correia, C., Schultz, H. R. (2020). A review of the potential climate change impacts and adaptation options for European viticulture. *Applied Sciences*, 10(9), 3092.

Smart, R. E. (1974). Aspects of water relations of the grapevine (*Vitis vinifera*). *American Journal of Enology and Viticulture*, 25(2), 84-91.

Yuste, J., Vicente, A. (2019). Riego del cv. Verdejo: efectos fisiológicos, agronómicos y cualitativos, en la DO Rueda. *Enoviticultura*, 58, 6-15.

Yuste, J., Vicente, A., Martínez-Porro, D. (2021). Estado hídrico y eficiencia fisiológica en cv. Cabernet Sauvignon: respuesta a distintos regímenes hídricos incluyendo la alternativa PRD en la línea de cepas. *Enoviticultura*, 71, 28-35.