



Universidad de Valladolid
Campus de Palencia

**ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR
DE INGENIERÍAS AGRARIAS**

Grado en Enología

**Modificación de la frecuencia de riego
deficitario y del posicionamiento de la
superficie foliar en espaldera en
Tempranillo: efectos hídricos, fisiológicos
y agronómicos**

Alumna: Laura Morejón Escudero

**Tutora: Josefina María Vila Crespo
Cotutor / Director: Jesús Yuste Bombín**

Junio de 2022



Copia para el tutor/a

ÍNDICE

Resumen.....	1
Abstract.....	2
1. Introducción.....	3
1.1. Respuesta vegetativa, productiva y cualitativa de la vid al riego	3
1.2. Respuesta hídrica y fisiológica de la vid al riego	4
1.3. Incidencia de la frecuencia de riego en la respuesta de la vid.....	5
1.4. Respuesta de la vid según el sistema de conducción.....	5
1.5. Respuesta hídrica y fisiológica al sistema de conducción.....	7
1.6. Respuesta de la vid asociada a distintas formas de espaldera	7
2. Objetivos.....	8
3. Materiales y métodos.....	8
3.1. Materiales.....	8
3.2. Métodos.....	9
4. Resultados y discusión	11
4.1. Potencial hídrico foliar y de xilema.....	11
4.2. Intercambio de gases: conductancia, transpiración y fotosíntesis	15
4.3. Desarrollo vegetativo y producción	20
4.4. Composición de la uva	22
5. Conclusiones	24
Agradecimientos.....	25
Bibliografía.....	26

RESUMEN

El riego y el manejo del *canopy* son prácticas agronómicas que despiertan alto interés en regiones vitivinícolas áridas o semiáridas para garantizar la disponibilidad de agua del suelo y regular el microclima de la vid, respectivamente. Estudios previos se han centrado en la comparación de diferentes estrategias de riego, sin tener en cuenta su frecuencia, y en el estudio de los efectos de distintos sistemas de conducción. En el presente trabajo se pretendió estudiar los efectos hídricos, fisiológicos y agronómicos de la modificación de la frecuencia de riego deficitario y del posicionamiento de la superficie foliar (*canopy*) en un viñedo conducido en espaldera de cv. Tempranillo, en la D.O. Ribera del Duero. El diseño experimental incluyó tres tratamientos de riego deficitario con diferente frecuencia de riego: T03 (2 riegos /semana), T07 (1 riego /semana), T15 (1 riego /2 semanas) y dos tratamientos de disposición foliar: T07 (*canopy* cerrado) y T7A (*canopy* abierto en la parte superior de la espaldera).

Los resultados mostraron que, en las condiciones de estudio, ni la frecuencia de riego ni la disposición del *canopy* permitieron discriminar claramente los tratamientos estudiados en cuanto a potencial hídrico foliar y de xilema y a intercambio gaseoso, aunque en determinadas fechas se observaron algunos valores asociados con una mayor o menor frecuencia de riego, así como, en menor medida, con la apertura del *canopy*. El desarrollo vegetativo y la superficie foliar externa no mostraron diferencias muy notables entre tratamientos. Sin embargo, se observó una ligera reducción del peso de madera de poda y del índice de área foliar (LAI) asociada a la menor frecuencia de riego, mientras que la apertura del *canopy* no modificó el peso de madera de poda, pero incrementó claramente la superficie foliar externa. La producción de uva no mostró diferencias significativas debidas a la frecuencia de riego ni a la disposición del *canopy*, aunque el *canopy* abierto presentó más racimos de menor peso, reduciendo ligeramente la producción. La mayor frecuencia de riego ocasionó menor concentración de azúcares y pH y mayor nivel de ácido málico, mientras que la menor frecuencia de riego mostró mayor nivel de potasio. Por otra parte, la disposición del *canopy* no mostró diferencias apreciables, con apenas un ligero aumento de azúcares, ácido málico y potasio en el *canopy* cerrado.

Palabras clave: conductancia estomática, fotosíntesis, potencial hídrico, transpiración, uva.

ABSTRACT

Irrigation and canopy management are agronomic practices of high interest in arid or semi-arid winegrowing regions to ensure soil water availability and regulate the vine microclimate, respectively. Previous studies have focused on the comparison of different irrigation strategies, regardless of their frequency, and on the study of the effects of different training systems. In the present work, the aim was to study the hydric, physiological and agronomic effects of modifying the frequency of deficit irrigation and the positioning of the shoots (canopy) in a vineyard trellised trained of cv. Tempranillo in the D.O. Ribera del Duero. The experimental design included three deficit irrigation treatments with different irrigation frequency: T03 (2 irrigations /week), T07 (1 irrigation /week), T15 (1 irrigation /2 weeks) and two shoot positioning treatments: T07 (closed canopy) and T7A (open canopy at the top of the trellis).

The results showed that, under the study conditions, neither irrigation frequency nor canopy arrangement clearly discriminated the treatments studied in terms of leaf and xylem water potential and gas exchange, although on certain dates some values associated with higher or lower irrigation frequency were observed, as well as, to a lesser extent, with canopy opening. Vegetative development and external leaf area did not show very noticeable differences between treatments. However, there was a slight reduction in pruning wood weight and leaf area index (LAI) associated with lower irrigation frequency, while canopy opening did not modify pruning wood weight, but clearly increased external leaf area. Grape production showed no significant differences due to irrigation frequency or canopy arrangement, although the open canopy had more clusters of lower weight, slightly reducing production. The highest irrigation frequency resulted in lower sugar concentration and pH and higher malic acid level, while the lowest irrigation frequency showed higher potassium level. On the other hand, canopy arrangement showed no appreciable differences, with only a slight increase in sugars, malic acid and potassium in the closed canopy.

Keywords: stomatal conductance, photosynthesis, water potential, transpiration, grapevine.

1. INTRODUCCIÓN

1.1. Respuesta vegetativa, productiva y cualitativa de la vid al riego

El riego es una herramienta importante y necesaria en las regiones vitivinícolas áridas o semiáridas de clima mediterráneo para garantizar la disponibilidad de agua del suelo para las plantas (Intrigliolo & Castel, 2011), al estar limitadas por la variabilidad y la distribución de las precipitaciones, lo cual determina la producción, así como la calidad de la uva y el vino (Pascual *et al.*, 2015). Para hacer frente a esto, el riego se ha convertido en una práctica habitual para estabilizar el rendimiento del viñedo y asegurar la calidad de la uva (Baeza *et al.*, 2019; Santos *et al.*, 2020). Especialmente, se encuentra muy presente en viñedos de países del Nuevo Mundo y en España desde el año 1996, ya que el riego del viñedo estuvo prohibido por ley hasta dicho año (Mirás-Avalos & Araujo, 2021; Ruiz-Sanchez *et al.*, 2010).

En los últimos años diversos estudios han comparado viñedos con riego frente a viñedos de secano, lo que mostró un aumento del crecimiento vegetativo asociado a una mayor superficie foliar y a un mayor peso de poda debido al riego (Trigo-Córdoba *et al.*, 2015). En otros artículos se han estudiado los efectos del riego y del estrés hídrico de la planta sobre el rendimiento y la composición de la uva mediante diferentes estrategias de riego con distintos niveles de estrés hídrico en comparación con las condiciones de secano (Intrigliolo & Castel, 2011; Intrigliolo *et al.*, 2016; Uriarte *et al.*, 2016; Vilanova *et al.*, 2018). En general, una mayor cantidad de agua de riego o de lluvia da lugar a un mayor número de racimos por sarmiento y un mayor número de bayas por racimo (Junquera *et al.*, 2012), junto con una maduración ralentizada y un mayor número de brotes (Chacón-Vozmediano *et al.*, 2020; Uriarte *et al.*, 2015), los cuales incrementan el sombreado y contribuyen a una disminución del contenido de antocianos (Mirás-Avalos *et al.*, 2016).

En cuanto a la composición de la uva, el riego puede tener una serie de efectos negativos asociados con el contenido en azúcar, la pérdida de color y el desequilibrio de la acidez (Yuste *et al.*, 2018). Sin embargo, algunos estudios han observado efectos positivos como el incremento de la acidez titulable de las bayas (Mirás-Avalos *et al.*, 2016; Trigo-Córdoba *et al.*, 2015; Uriarte *et al.*, 2015; Vilanova *et al.*, 2018), especialmente interesante para la variedad Tempranillo, presente en zonas semiáridas donde la acidez suele ser baja (Uriarte *et al.*, 2016). Sólo en unos pocos estudios han observado una disminución de la acidez total (Lizama *et al.*, 2021) o no han observado diferencias en la composición de la uva debidas al riego (Junquera *et al.*, 2012).

Dentro de las diferentes estrategias de riego cabe destacar el riego deficitario basado en la aplicación de una menor cantidad de agua de la que se pierde por la evapotranspiración total de la vid, para suplir una parte de la misma mediante la generación de estrés hídrico (Scholasch & Rienth, 2019). Esta estrategia influye sobre el crecimiento, la actividad fisiológica y el microclima de la vid (Keller *et al.*, 2016). Permite mantener en equilibrio el desarrollo vegetativo y el reproductivo de las cepas (Mirás-Avalos *et al.*, 2016), contribuye a la mejora del microclima de los racimos (Torres *et al.*, 2018), aumenta la calidad y la composición de las bayas y el vino (Romero *et al.*,

2016), mejora la eficiencia del uso del agua (Chaves *et al.*, 2007) y puede ser interesante para el ahorro de agua (Santos *et al.*, 2020). Entre las técnicas de riego deficitario más estudiadas en los últimos años destacan el riego deficitario controlado (RDC), el riego por secado parcial de la zona radicular (RSPR) y el riego deficitario sostenido (RDS) (Santos *et al.*, 2020).

1.2. Respuesta hídrica y fisiológica de la vid al riego

A pesar de considerar a la vid como una especie resistente a la sequía por su presencia en regiones semiáridas (Alatzas *et al.*, 2021), en ocasiones las situaciones de déficit hídrico pueden disminuir el crecimiento vegetativo y el reproductivo, el rendimiento y la fotosíntesis (Cifre *et al.*, 2005), dando lugar a efectos negativos sobre la biosíntesis de la clorofila y los parámetros de intercambio de gases (Sharma *et al.*, 2020), y efectos favorables sobre la síntesis de polifenoles como consecuencia de la disminución de la fotosíntesis neta (Katerji *et al.*, 1994). El estrés hídrico causado por la sequía en el viñedo suele ir acompañado de un estrés térmico causado por elevadas temperaturas que afectan a las funciones fisiológicas de las plantas. Principalmente, una reducción de la fotosíntesis y de la conductancia estomática (Venios *et al.*, 2020), de forma que aumenta la concentración de ácido abscísico (ABA) en hoja y tallo y se ve comprometida la diferenciación de las yemas (Monteiro *et al.*, 2021) con el cierre de estomas de las hojas para evitar su desecación (Venios *et al.*, 2020). Un estrés hídrico temprano conduce a un menor número de bayas por racimo, mientras que un estrés hídrico severo entre el cuajado y el envero da lugar a una disminución del peso de la baya (Ojeda *et al.*, 2001), y una disminución del intercambio de gases y del crecimiento de la planta (Zufferey *et al.*, 2020). De lo contrario, un estrés hídrico moderado puede aumentar la fructificación de las yemas gracias a la disminución de la densidad del *canopy* y a la mejora de la exposición a la luz de las yemas (Monteiro *et al.*, 2021).

En estudios donde compararon los parámetros fisiológicos de la vid en función del régimen hídrico, observaron un déficit hídrico creciente de forma progresiva en el tiempo dando lugar a un menor intercambio de gases en las hojas (fotosíntesis y transpiración) y una disminución de la conductancia estomática. Sin embargo, la eficiencia del uso del agua aumentó a medida que avanzaba la temporada y fue mayor en las plantas sin riego (Zufferey *et al.*, 2020). Dayer *et al.* (2017) observaron una disminución de la conductancia estomática foliar y la conductividad hidráulica específica del peciolo en las vides sin riego con respecto a las vides regadas una vez a la semana desde floración hasta envero. Medrano *et al.* (2003) observaron en cv. Tempranillo y cv. Manto Negro una mejora del estado hídrico, de la fotosíntesis y de la transpiración, determinadas mediante el potencial hídrico de hoja antes del amanecer con la aplicación del riego moderado sobre el estado hídrico en comparación con viñedos no regados.

1.3. Incidencia de la frecuencia de riego en la respuesta de la vid

La incidencia de la frecuencia de riego apenas ha sido estudiada en los últimos años, a pesar de ser un factor interesante para mejorar el rendimiento y la calidad de la cosecha, optimizar la eficiencia del riego y ahorrar agua mediante técnicas de riego deficitario (Romero *et al.*, 2022).

Los estudios previos disponibles demostraron la influencia de la frecuencia de riego en el viñedo, junto con la distancia entre emisores de riego y el caudal de descarga (patrón de distribución de agua) sobre el desarrollo vegetativo, el rendimiento, la composición de la uva (Myburgh, 2012; Sebastian *et al.*, 2015), la evaporación de agua (Montoro *et al.*, 2016) y el intercambio gaseoso foliar (Sebastian *et al.*, 2016). Los efectos de la frecuencia de riego en viñedos de cv. Syrah plantados en un suelo arcilloso pesado mostraron que la aplicación de una dosis reducida de riego con una alta frecuencia (2 días) dio lugar a una pérdida de la eficiencia respecto a una menor frecuencia de riego de 4 días, ya que se pudo favorecer la evaporación al ocasionar pequeños bulbos de agua en la superficie (Sebastian *et al.*, 2015). Igualmente, Montoro *et al.* (2016) observaron el mismo efecto en un viñedo de cv. Tempranillo. Además, los resultados de la frecuencia de riego sobre el intercambio gaseoso de las hojas de un viñedo de cv. Syrah indicaron que las plantas regadas cada 4 días presentaron una mayor asimilación neta que las plantas regadas cada 2 días (Sebastian *et al.*, 2016). Sin embargo, Myburgh (2012) obtuvo mejores resultados con una mayor frecuencia de riego en las cepas de viñedos de suelos arenosos destinados a la producción de uva de mesa.

1.4. Respuesta de la vid según el sistema de conducción

La arquitectura de la vid hace referencia al sistema de conducción, el tipo de poda, el sistema de espaldera y la densidad de plantación (Deloire, 2012). Su interacción con las prácticas de campo y las condiciones meteorológicas es decisiva para la estructura del *canopy* de la vid, al estar asociada a la asimilación de carbono, la fertilidad de las yemas y la calidad del fruto (Favero *et al.*, 2010). El *canopy* es el conjunto de hojas y sarmientos de la vid (Smart *et al.*, 1990). Su manejo es una herramienta agronómica interesante basada en la alteración de la posición y el número de brotes, hojas y frutos en el espacio (Smart & Smith, 1988). La gestión del *canopy* se emplea principalmente para regular el microclima del *canopy*, el cual está sujeto a la cantidad y la disposición de la superficie foliar en el espacio, puesto que influye sobre la calidad de la uva y el vino (Smart, 1985). Esta técnica ha suscitado especial interés para regular el microclima del racimo y así mejorar el estado sanitario de la planta, el rendimiento y la calidad de la uva mediante la modificación de la intercepción de la luz (Medrano *et al.*, 2015). El sistema de conducción de la vid desempeña un papel fundamental para determinar la aptitud de las variedades de uva en una región vitivinícola específica (Liu *et al.*, 2015). Existen diferentes sistemas de conducción de la vid para equilibrar el vigor y el rendimiento y para mejorar la calidad del vino mediante la mejora del microclima del *canopy* y del racimo (Reynolds & Vanden Heuvel, 2009). En función del tipo de conducción puede variar la superficie foliar total y el porcentaje de superficie foliar directamente expuesta

y, por lo tanto, la capacidad de la planta para realizar una fotosíntesis eficiente (Reynolds & Vanden Heuvel, 2009). Según Zurowietz *et al.* (2022), los diferentes sistemas de conducción pueden clasificarse de la siguiente manera: sistemas de conducción en espaldera vertical (sistema de tres brazos, mosela de una sola estaca, Guyot, Sylvoz, lira, cordón de 3 niveles, cordón de 2 brazos y cordón de 4 brazos), sistemas de conducción con sarmientos colgantes (Slamka, Geneva doble cortina, Geneva doble cortina dúplex, pérgola, cordón vertical, formación en cortina y formación en cortina con atadura) y sistemas de conducción de poda mínima (5 años sin poda, 9 años sin poda y 13 años sin poda).

Como consecuencia de la gran diversidad de sistemas de conducción de la vid, cada vez son más los estudios dedicados a la comparación de los efectos de los sistemas de conducción sobre la vid. Algunos estudios compararon los sistemas de conducción con el *canopy* moderadamente abierto frente a los sistemas de conducción de *canopy* con mayor porcentaje de superficie foliar sombreada, donde observaron bayas con mayor concentración de sólidos solubles totales, menor pH, mayor acidez titulable, menor presencia de compuestos herbáceos inmaduros y, en ocasiones, mayor concentración de compuestos fenólicos en los sistemas de *canopy* moderadamente abierto (Haselgrove *et al.*, 2000). Sin embargo, los sistemas de conducción de *canopy* sombreado, debido a un exceso de vigor, pueden reducir la calidad de la uva (Smart, 1985), asociada al vino con menor intensidad de color por el sombreado de los racimos (Gutiérrez-Gamboa *et al.*, 2021). Valentini *et al.* (2019) compararon el efecto de *canopy* abierto en forma de V frente a un Guyot vertical de cv. Sangiovese cerrado. No encontraron diferencias en el rendimiento ni en la superficie foliar, pero sí observaron una mayor incidencia de la luz en las cepas del sistema de *canopy* cerrado que en las cepas del sistema de *canopy* abierto en V en las primeras horas del día, mientras que esta fue menor en el mediodía, junto con menor transpiración y fotosíntesis neta y mayor contenido de sólidos solubles totales. Sin embargo, Intrigliolo & Lakso (2011) abrieron el *canopy* en forma de V de una cortina de cv. Riesling con el fin de aumentar la captación de la luz y obtuvieron una disminución del potencial hídrico del tallo en las horas centrales del día, lo que sugiere un aumento del consumo de agua por la planta.

Otros estudios, como el de Peterlunger *et al.* (2002), compararon diversos sistemas de conducción sobre la variedad Pinot Noir en Italia, donde observaron diferencias mínimas en cuanto a la composición de la uva, pero diferencias notables en cuanto al rendimiento, obteniendo buenos rendimientos con los sistemas de cordón horizontal con pulgares y cordón vertical con pulgares, y un menor rendimiento en los sistemas de Guyot simple y Guyot doble. En cambio, Wimmer *et al.* (2018) estudiaron los efectos sobre el rendimiento, la composición y el tamaño del racimo, el equilibrio de la vid y la densidad del *canopy* de los sistemas de conducción de cordón alto, espaldera vertical y Scott Henry, sobre cultivares híbridos interespecíficos de clima frío (Brianna, Frontenac, La Crescent y Marquette), observando un mayor rendimiento en el sistema Scott Henry y una composición de la uva similar.

1.5. Respuesta hídrica y fisiológica al sistema de conducción

El estado hídrico de la planta juega un papel importante en la fisiología de la vid, que se ve reflejado a través del equilibrio del potencial hídrico de la misma (Carbonneau & Costanza, 2004). En estudios previos se ha estudiado el estado hídrico de la vid, en los que han observado que la demanda de agua aumenta a mayor altura de la espaldera como consecuencia de una mayor intercepción de la luz (Reynolds & Vanden Heuvel, 2009). Intrigliolo & Lakso (2011) demostraron que una menor intercepción de luz en el *canopy* podría emplearse para reducir el estrés hídrico de la planta y el uso del agua, apoyando al mismo tiempo que la intercepción de la luz impulsa el intercambio gaseoso de la superficie foliar de la vid. Defendiendo lo anterior, la intercepción de la luz fue maximizada por la mañana en un viñedo de cv. Bobal conducido en espaldera vertical con los sarmientos orientados hacia el oeste dando lugar a un aumento de la transpiración en comparación con el sistema de conducción de espaldera vertical convencional (Buesa *et al.*, 2020). Ribeiro & Adrade (2013) compararon los efectos fisiológicos y la eficiencia del uso del agua de los sistemas de conducción en vaso y en espaldera vertical con poda de cordón Royat doble, sobre la variedad cv. Tinta Roriz, donde obtuvieron un menor potencial hídrico, una menor transpiración, una menor conductancia estomática y una mayor eficiencia del uso del agua intrínseca del sistema de conducción en vaso. Por otro lado, Favero *et al.* (2010) observaron una similar asimilación de CO₂ de las plantas en los sistemas de conducción de espaldera vertical y doble cortina Geneva, en viñedos de Syrah sin riego en Brasil, pero observaron un menor potencial hídrico en el sistema de conducción de espaldera vertical.

1.6. Respuesta de la vid asociada a distintas formas de espaldera

Entre los sistemas de conducción de la vid más empleados se encuentra la espaldera vertical, ya que puede ser fácilmente mecanizable (Intrigliolo & Lakso, 2011). Tiene como objetivo optimizar la interceptación de la luz en el *canopy* y garantizar una exposición y una penetración adecuada de la luz hacia las yemas y los racimos (Intrigliolo & Lakso, 2011). A su vez, permite controlar de forma óptima el rendimiento y la calidad de la uva, mediante la gestión del número de brotes y su distribución (Kraus *et al.*, 2018), al separar en el espacio la zona vegetativa de la zona de los racimos, lo que a su vez favorece su sobreexposición (Palliotti *et al.*, 2014), el microclima y la calidad de estos (Smart, 1985). En estudios previos las plantas conducidas en espaldera vertical han incrementado el número de capas de hojas del *canopy* en la zona de racimos respecto a otros sistemas de conducción distintos a la espaldera vertical. La apertura del *canopy* puede favorecer el flujo del aire para reducir posibles enfermedades y modificar las condiciones microclimáticas y, por tanto, la composición de la uva (Reynolds & Vanden Heuvel, 2009). Favero *et al.* (2010) observaron una mayor exposición de racimos y un menor grado brix en las bayas de las plantas conducidas en espaldera vertical. Sin embargo, Kyraleou *et al.* (2015) obtuvieron uva con un mayor contenido de antocianos con la lira y uva idónea para la elaboración de vino de guarda con el sistema de cordón Royat sobre la variedad Xinomavro en Grecia.

2. OBJETIVOS

El objetivo principal del presente estudio es evaluar los efectos hídricos, fisiológicos y agronómicos de tres tratamientos de riego deficitario y de dos tratamientos con diferente disposición de la superficie foliar aplicados en un viñedo de cv. Tempranillo, conducido en espaldera, con sistema de poda en cordón Royat doble.

El trabajo se enmarca en el ámbito de un subproyecto del proyecto de I+D+i del Ministerio de Ciencia e Innovación, de la convocatoria 2019, titulado “Gestión hídrica y agronómica anual en variedades tintas de vid para mejorar su manejo productivo y cualitativo y disminuir efectos del cambio climático” (*WFW-Irrivitis*). A su vez, el subproyecto del presente trabajo, coordinado por Jesús Yuste desde el ITACyL, se titula “Regulación del riego deficitario y de la vegetación de Tempranillo en espaldera para disminuir efectos del cambio climático y mejorar su producción y calidad”.

El objetivo principal del subproyecto indicado en el párrafo anterior se puede dividir en diversos objetivos específicos:

- Evaluar la influencia de la frecuencia de riego deficitario de los tratamientos (dos riegos a la semana, un riego a la semana y un riego cada dos semanas) en el estado hídrico, la fisiología y el desarrollo de las cepas de cv. Tempranillo.
- Evaluar la influencia de la disposición de la superficie foliar de los tratamientos (*canopyabierto / canopycerrado*) en el estado hídrico, la fisiología y el desarrollo de las cepas de cv. Tempranillo.
- Evaluar el impacto de los diferentes tratamientos de riego deficitario y disposición de la superficie foliar en la producción y la calidad de la uva de las cepas de cv. Tempranillo.

3. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Materiales

3.1.1. Localización y descripción del ensayo

El ensayo experimental se estableció en la campaña de 2021 en un viñedo de una bodega comercial de cv. Tempranillo en el término municipal de Pesquera de Duero, Valladolid, España (41° 38' 34"N, 4° 9' 27"O), ubicado a 747 m de altitud dentro de la D.O. Ribera del Duero. El estudio comenzó en el mes de marzo del año 2021 y se llevará a cabo durante tres temporadas consecutivas (2021-2023). Esta región se caracteriza por presentar un clima mediterráneo continental, con inviernos largos y fríos y veranos cortos y calurosos, con oscilaciones de temperatura entre el día y la noche alrededor de 15°C, una precipitación media anual en torno a 400 mm y accidentes meteorológicos eventuales muy dañinos, como las heladas primaverales.

El ensayo está constituido por media hectárea de superficie de viñedo experimental dentro de la parcela “La Nava”, de 3,24 ha, que alberga los edificios de una bodega

comercial (0,8 ha) y el viñedo de cv. Tempranillo (2,44 ha). El viñedo de cv. Tempranillo, conducido en espaldera de 1,70 m de altura, se plantó en el año 2006 con el portainjerto 110R, con un marco de plantación de 3,0 m × 1,2 m (2.778 plantas. ha⁻¹), una orientación de filas N-S, un sistema de poda en cordón Royat bilateral con 6 pulgares de 2 yemas por cepa y una altura de tronco de 60 cm.

El sistema de riego por goteo se instaló en el mes de marzo de 2021, con dos emisores por planta, separados 60 cm y con un caudal de 1,9 L.h⁻¹ (1,05 mm.h⁻¹) y 3,4 L.h⁻¹ (1,89 mm.h⁻¹) en los tratamientos de riego T03 y T07, y T15, respectivamente.

3.2. Métodos

3.2.1. Diseño experimental

El ensayo constituye una parte del proyecto previsto para un período de tres años, en la cual se incluye el estudio de la aplicación del riego deficitario (30% ET_o desde tamaño guisante hasta vendimia) con diferentes frecuencias de riego y de posicionamiento de la superficie foliar mediante la apertura del *canopy* en la parte superior de la espaldera. Los tratamientos experimentales son los siguientes: T03 (dos riegos a la semana y *canopy* cerrado en la parte superior de la espaldera), T07 (un riego a la semana y *canopy* cerrado en la parte superior de la espaldera), T15 (un riego cada dos semanas y *canopy* cerrado en la parte superior de la espaldera) y T7A (un riego a la semana y apertura del *canopy* en la parte superior de la espaldera). Además de la comparación del régimen hídrico entre los tratamientos experimentales de frecuencia de riego, también se comparó el posicionamiento de la superficie foliar entre los tratamientos T07 y T7A. La evapotranspiración del cultivo (ET_c) se estimó como el producto de la evapotranspiración de referencia (ET_o), medida en la estación meteorológica de InfoRiego situada en el término municipal de Valbuena de Duero, y el 30% de coeficiente de cultivo (K_c). La ET_o observada se deriva de la aplicación de la ecuación Penman-Monteith.

El diseño experimental consistió en la división del viñedo disponible para el ensayo en bloques al azar. En cada uno de ellos se dispuso de 4 parcelas elementales, las cuales estaban formadas por 24 cepas de control dispuestas en 2 filas adyacentes y éstas, a su vez, con una fila de cepas a cada uno de los lados para el efecto borde. El suelo de la parcela del ensayo es franco arenoso, con una profundidad superior a 1 m, y presenta una adecuada capacidad de drenaje. El riego se aplicó desde el estado de tamaño guisante hasta la vendimia, todos los martes, a excepción del tratamiento T03, en el cual el riego se aplicó también los viernes de cada semana. El primer riego se aplicó el 6 de julio de 2021 con el tratamiento de frecuencia de riego cada 3 días y el último riego se registró el 24 de septiembre de 2021, totalizando en todos los tratamientos 126 mm.

3.2.2. Medidas experimentales

Potencial hídrico foliar y de xilema

El potencial hídrico se midió dos veces por semana (lunes y jueves), los días anteriores al riego, durante el ciclo vegetativo, desde el estado fenológico de tamaño guisante hasta la vendimia, mediante una cámara de presión de tipo Scholander (Soilmoisture Corp., Santa Barbara, USA.), para determinar el estado hídrico de la vid en cada uno de los tratamientos de Frecuencia de riego y de Apertura del *canopy*.

El potencial hídrico de hoja adulta (ψ_f) se midió a lo largo del ciclo vegetativo a las 7 horas solares (hs) a la sombra, en el lado oeste de la espaldera, y el potencial hídrico de xilema (ψ_x) se midió a las 12 hs en el lado este de la espaldera, en hojas expuestas al sol cubiertas con bolsas de papel de aluminio 1 hora antes de realizar la medida. Para dichas medidas destructivas, se tomó una hoja adulta situada a la mitad del pámpano, de 2 cepas contiguas representativas por repetición en las dos primeras repeticiones (I y II) de cada tratamiento, y una hoja de una cepa representativa de las dos últimas repeticiones (III y IV) de cada tratamiento, resultando un total de 6 hojas muestreadas por tratamiento.

Intercambio de gases: conductancia estomática (g_s), transpiración (E) y fotosíntesis (A)

El intercambio de gases en hoja adulta se midió en la cara este de la espaldera, expuesta directamente a la radiación solar, dos veces por semana (lunes y jueves) a las 9 hs, con un analizador de gases por infrarrojos (IRGA), Li-6400 *Portable Photosynthesis System* (LI-Cor 6400 Biosciences, Lincoln, Nebraska, U.S.A.), mediante la conductancia estomática (g_s), la transpiración (E) y la fotosíntesis neta (A). Al igual que las medidas de potencial hídrico, las medidas de intercambio gaseoso se realizaron en hojas adultas de la mitad del pámpano de 2 cepas contiguas y representativas por repetición en las dos primeras repeticiones (I y II) de cada tratamiento y una hoja de una cepa representativa de las dos últimas repeticiones (III y IV) de cada tratamiento, resultando un total de 6 hojas muestreadas por tratamiento en las fechas y las horas que se recogen en las tablas de resultados.

Desarrollo vegetativo y producción

El desarrollo vegetativo se estimó a partir de la medida de la superficie foliar externa (SA) y la superficie foliar total del *canopy*, determinando ésta mediante el índice de área foliar (LAI).

También se estimó el desarrollo vegetativo en el momento de la poda mediante el número de sarmientos por cepa, el peso del sarmiento y el peso de madera de poda.

La producción de uva se estimó a través del número de racimos por cepa, el peso de racimo, el peso de baya, el número de bayas por racimo y el peso de uva por cepa. El bajo nivel de rendimiento obtenido en la campaña 2021 fue principalmente determinado

por el pedrisco acontecido en la parcela del ensayo el 31 de mayo de 2021, lo que provocó la destrucción mayoritaria de las inflorescencias. Los datos meteorológicos de la campaña 2021 se muestran en la figura 1.

Con el rendimiento y el peso de madera de poda obtenidos se calculó el índice de Ravaz (peso de uva / peso de madera de poda).

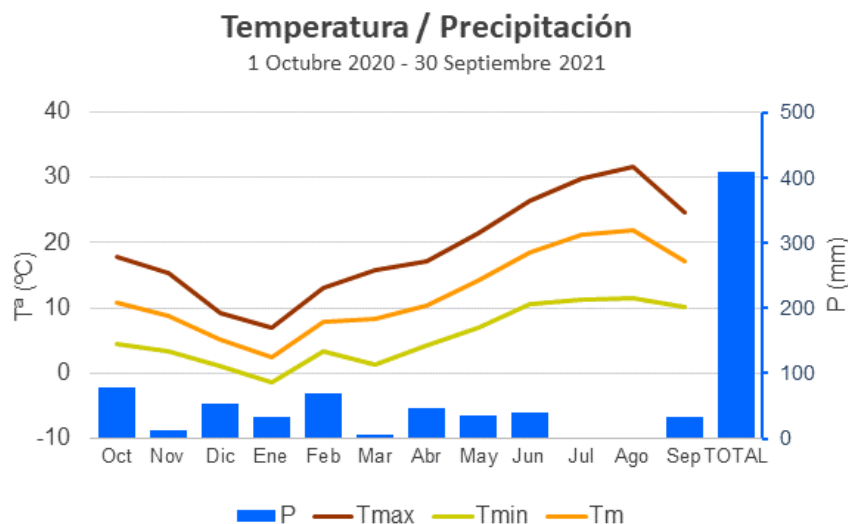


Figura 1. Datos meteorológicos mensuales de la campaña 2021 (octubre-2020 / septiembre-2021), en Pesquera de Duero (Valladolid). P: precipitación, T: temperatura.

Composición de la uva

La composición de la uva se determinó con mosto de uva muestreada los días próximos a la fecha de vendimia estimada. La concentración de sólidos solubles (°Brix) se cuantificó con un refractómetro manual. El pH se midió con un pH metro calibrado. La acidez total se midió mediante el método volumétrico. También se midió el ácido tartárico, el ácido málico, el potasio y el índice de polifenoles totales (IPT).

Análisis estadístico

El análisis estadístico de los resultados se ha realizado mediante el análisis de la varianza (ANOVA), por medio del programa SPSS 16.0.

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Potencial hídrico foliar y de xilema

4.1.1. Potencial hídrico foliar

Lunes

El potencial hídrico foliar (en hojas situadas a la sombra en la cara oeste), medido a las 7 hs los lunes, no mostró diferencias significativas entre los tratamientos de frecuencia

de riego la mayoría de los días (tabla 1), siendo, por tanto, el estrés hídrico similar en los tres tratamientos. A partir de la segunda medida de potencial hídrico foliar, los tratamientos de frecuencia de riego mostraron un nivel de estrés hídrico más favorable que al inicio y más bien constante debido al riego, hasta la última medida en la que se apreció una clara recuperación de éste. En uno de los días de medida, a mitad de la temporada de riego, se pudo discernir entre los tratamientos de frecuencia de riego T03 y T15, donde se observó un mayor estrés hídrico asociado con una menor frecuencia de riego (T15).

Tabla 1. Potencial hídrico foliar (MPa) a 7 hs medido los lunes, en los tratamientos de frecuencia de riego: T03, T07 y T15. Significación estadística: $p<0,05$ y $p<0,1$ (Letras distintas corresponden a valores estadísticos significativamente diferentes).

Tratamiento	Ψ_{071} - lunes										
	12-jul.	19-jul.	26-jul.	2-ago.	9-ago.	23-ago.	30-ago.	6-sep.	13-sep.	20-sep.	27-sep.
T03	-0,51	-0,31	-0,28	-0,36	-0,39	-0,35 a	-0,48	-0,38	-0,48	-0,46	-0,11
T07	-0,52	-0,34	-0,26	-0,35	-0,36	-0,39 ab	-0,46	-0,38	-0,48	-0,41	-0,11
T15	-0,59	-0,33	-0,28	-0,38	-0,38	-0,43 b	-0,46	-0,41	-0,41	-0,44	-0,11
Media	-0,54	-0,33	-0,27	-0,37	-0,37	-0,39	-0,47	-0,39	-0,45	-0,44	-0,11
P-valor	0,286	0,615	0,686	0,290	0,677	0,092	0,831	0,524	0,160	0,224	0,919
Sig. $P<0,05$	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Sig. $P<0,1$	-	-	-	-	-	*	-	-	-	-	-

El potencial hídrico foliar medido en el tratamiento de *canopy* abierto mostró la misma tendencia que en el tratamiento de *canopy* cerrado (tabla 2), de forma que se mantuvo en el tiempo entre un intervalo de valores entre -0,28 y -0,51 MPa desde la segunda hasta la penúltima medida, gracias a la aplicación del riego, hasta disminuir notablemente el último día de medida.

Tabla 2. Potencial hídrico foliar (MPa) a 7 hs medido los lunes, en los tratamientos de disposición del *canopy*: T07 y T7A. Significación estadística: $p<0,05$ y $p<0,1$.

Tratamiento	Ψ_{071} - 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
T7A	-0,53	-0,33	-0,28	-0,35	-0,39	-0,37	-0,51	-0,38	-0,51	-0,40	-0,12
Media	-0,53	-0,34	-0,27	-0,35	-0,37	-0,38	-0,49	-0,38	-0,49	-0,40	-0,12
P-valor	0,782	0,761	0,536	0,705	0,400	0,281	0,062	0,914	0,363	0,470	0,620
Sig. $P<0,05$	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Sig. $P<0,1$	-	-	-	-	-	-	*	-	-	-	-

Jueves

El potencial hídrico foliar (en hojas situadas a la sombra en la cara oeste), medido a las 7 hs los jueves, no permitió diferenciar estadísticamente los tratamientos de frecuencia de riego (tabla 3), pero mostró una tendencia de valores estables a lo largo de las medidas, junto con un valor más alto el último día de medida, lo que indica una rehidratación mantenida con el uso del agua de la vid, como se observó en el potencial hídrico foliar medido los lunes.

Tabla 3. Potencial hídrico foliar (MPa) a 7 hs medido los jueves, en los tratamientos de frecuencia de riego: T03, T07 y T15. Significación estadística: $p < 0,05$ y $p < 0,1$ (Letras distintas corresponden a valores estadísticos significativamente diferentes).

Tratamiento	Ψ_{07h} - jueves								
	15-jul.	22-jul.	29-jul.	5-ago.	12-ago.	26-ago.	16-sep.	23-sep.	30-sep.
T03	-0,44	-0,38 a	-0,32	-0,33	-0,31	-0,38	-0,29	-0,42	-0,16
T07	-0,36	-0,41 ab	-0,29	-0,32	-0,29	-0,36	-0,27	-0,37	-0,13
T15	-0,37	-0,43 b	-0,31	-0,35	-0,34	-0,35	-0,32	-0,36	-0,13
Media	-0,39	-0,41	-0,31	-0,33	-0,31	-0,36	-0,29	-0,38	-0,14
P-valor	0,168	0,099	0,369	0,567	0,200	0,774	0,717	0,334	0,157
Sig. $P < 0,05$	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Sig. $P < 0,1$	-	*	-	-	-	-	-	-	-

El potencial hídrico foliar medido en el tratamiento de *canopy* abierto no mostró diferencias claras frente al tratamiento de *canopy* cerrado, excepto en la medida realizada en torno a la mitad del mes de julio (tabla 4), donde se observó un valor de potencial hídrico ligeramente más bajo en el tratamiento T07 que en el T7A.

Tabla 4. Potencial hídrico foliar (MPa) a 7 hs medido los jueves, en los tratamientos de disposición del *canopy*: T07 y T7A. Significación estadística: $p < 0,05$ y $p < 0,1$.

Tratamiento	Ψ_{07h} - 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
T7A	-0,41	-0,38	-0,30	-0,35	-0,30	-0,35	-0,25	-0,35	-0,14
Media	-0,39	-0,39	-0,30	-0,34	-0,30	-0,36	-0,26	-0,36	-0,13
P-valor	0,068	0,026	0,695	0,426	0,523	0,828	0,480	0,505	0,488
Sig. $P < 0,05$	-	*	-	-	-	-	-	-	-
Sig. $P < 0,1$	*	-	-	-	-	-	-	-	-

4.1.2. Potencial hídrico de xilema

Lunes

El potencial hídrico de xilema (en hojas expuestas al sol en la cara este de la espaldera, cubiertas con bolsas de papel de aluminio 1 hora antes), medido a las 12 hs los lunes, mostró una tendencia decreciente similar en todos los tratamientos de frecuencia de riego, alcanzando valores por debajo de -0,9 MPa. En algunos días de medida se observaron diferencias estadísticamente significativas entre los tratamientos de frecuencia de riego (tabla 5), en los que se pudo apreciar un valor más bajo de potencial hídrico de xilema en el tratamiento con mayor frecuencia de riego (T03) que en el resto (T07 y T15).

Tabla 5. Potencial hídrico de xilema (MPa) a 12 hs medido los lunes, en los tratamientos de frecuencia de riego: T03, T07 y T15. Significación estadística: $p < 0,05$ y $p < 0,1$ (Letras distintas corresponden a valores estadísticos significativamente diferentes).

Tratamiento	Ψ_{12x} - lunes					
	12-jul.	19-jul.	26-jul.	9-ago.	23-ago.	30-ago.
T03	-0,59 b	-0,59 b	-0,62	-0,72	-0,84	-0,93
T07	-0,55 a	-0,47 a	-0,60	-0,80	-0,93	-0,92
T15	-0,55 a	-0,57 b	-0,59	-0,71	-0,94	-0,87
Media	-0,56	-0,55	-0,60	-0,74	-0,90	-0,91
P-valor	0,002	0,086	0,880	0,147	0,228	0,630
Sig. $P < 0,05$	*	-	-	-	-	-
Sig. $P < 0,1$		*	-	-	-	-

El potencial hídrico de xilema medido en los tratamientos de posicionamiento de *canopy* no permitió discernir estadísticamente entre los tratamientos de disposición del *canopy* abierto y cerrado, de forma que en ambos tratamientos se registraron valores de potencial hídrico de xilema progresivamente decrecientes a lo largo del periodo de medidas hasta alcanzar casi el valor de -1,0 MPa (tabla 6). En las medidas del mes de agosto, el potencial hídrico de xilema del tratamiento de *canopy* abierto mostró valores más bajos que el tratamiento de *canopy* cerrado, tal y como se pudo apreciar en el estudio de Valentini *et al.* (2019).

Tabla 6. Potencial hídrico de xilema (MPa) a 12 hs medido los lunes, en los tratamientos de disposición del *canopy*: T07 y T7A. Significación estadística: $p < 0,05$ y $p < 0,1$.

Tratamiento	Ψ_{12x} - 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
T7A	-0,52	-0,53	-0,56	-0,82	-0,96	-0,98
Media	-0,54	-0,50	-0,58	-0,81	-0,94	-0,95
P-valor	0,567	0,135	0,278	0,672	0,800	0,264
Sig. $P < 0,05$	-	-	-	-	-	-
Sig. $P < 0,1$	-	-	-	-	-	-

Jueves

El potencial hídrico de xilema (en hojas expuestas al sol en la cara este de la espaldera, cubiertas con bolsas de papel de aluminio 1 hora antes), medido a las 12 hs los jueves presentó un nivel de estrés hídrico con una tendencia irregularmente ascendente a lo largo del tiempo de medidas (tabla 7). Se observaron diferencias estadísticas significativas entre los tratamientos de frecuencia de riego a finales de los meses de julio y septiembre. En la medida de julio se observó un mayor estrés hídrico asociado a una menor frecuencia de riego, mientras que en las dos medidas de septiembre se registró lo contrario, un mayor estrés hídrico asociado a una mayor frecuencia de riego (tabla 7).

Tabla 7. Potencial hídrico de xilema (MPa) a 12 hs medido los jueves, en los tratamientos de frecuencia de riego: T03, T07 y T15. Significación estadística: $p < 0,05$ y $p < 0,1$ (Letras distintas corresponden a valores estadísticos significativamente diferentes).

Tratamiento	Ψ_{12x} - jueves							
	15-jul.	22-jul.	29-jul.	5-ago.	12-ago.	26-ago.	23-sep.	30-sep.
T03	-0,59	-0,87 a	-0,99	-0,71	-0,88	-1,09	-1,18 b	-1,06 b
T07	-0,56	-0,88 a	-0,93	-0,70	-0,89	-1,16	-0,97 a	-1,01 b
T15	-0,60	-1,00 b	-1,01	-0,66	-0,79	-1,16	-0,90 a	-0,80 a
Media	-0,58	-0,92	-0,98	-0,69	-0,85	-1,13	-1,02	-0,96
P-valor	0,752	0,006	0,624	0,707	0,625	0,328	0,002	0,000
Sig. P<0,05	-	*	-	-	-	-	*	*
Sig. P<0,1	-	-	-	-	-	-	-	-

No se encontraron diferencias estadísticamente significativas en el potencial hídrico del xilema entre los tratamientos de *canopy* abierto y cerrado, pero se pudo observar una tendencia prácticamente creciente del estrés hídrico a lo largo del periodo de medidas, lo que puede suponer un incremento de la eficiencia en el uso del agua por parte de la vid (tabla 8). Se alcanzaron valores por debajo de -1,15 MPa a finales de agosto, que representan un nivel de estrés de moderado a fuerte.

Tabla 8. Potencial hídrico de xilema (MPa) a 12 hs medido los jueves, en los tratamientos de disposición del *canopy*: T07 y T7A. Significación estadística: $p < 0,05$ y $p < 0,1$.

Tratamiento	Ψ_{12x} - 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
T7A	-0,54	-0,85	-0,92	-0,77	-0,97	-1,15	-1,01	-1,04
Media	-0,55	-0,86	-0,92	-0,74	-0,93	-1,15	-0,99	-1,02
P-valor	0,697	0,403	0,809	0,516	0,253	0,835	0,567	0,117
Sig. P<0,05	-	-	-	-	-	-	-	-
Sig. P<0,1	-	-	-	-	-	-	-	-

4.2. Intercambio de gases: conductancia, transpiración y fotosíntesis

4.2.1. Conductancia estomática

Lunes

La conductancia estomática, medida los lunes a las 9 hs en hojas expuestas al sol en la cara este de la espaldera, mostró en algunas ocasiones diferencias estadísticamente significativas entre los tratamientos de frecuencia de riego, presentando mayor conductancia estomática los tratamientos con mayor frecuencia de riego (T03 y T07) que el tratamiento T15 (tabla 9). La conductancia estomática mostró una tendencia creciente y decreciente de forma alterna en las medidas realizadas, lo que sugiere haberse visto afectada por las condiciones ambientales a las que ha estado sometida la vid en cada momento.

Tabla 9. Conductancia estomática ($\text{mmol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$) medida los lunes a las 9 hs en los tratamientos de frecuencia de riego: T03, T07 y T15. Significación estadística: $p<0,05$ y $p<0,1$ (Letras distintas corresponden a valores estadísticos significativamente diferentes).

Tratamiento	G_9 - lunes				
	12-jul.	19-jul.	9-ago.	23-ago.	30-ago.
T03	86,8 ab	155,4	128,8 a	85,2	103,2
T07	97,7 a	152,6	132,1 a	71,7	96,8
T15	79,7 b	149,6	114,1 b	70,4	105,9
Media	88,0	152,5	125,0	75,8	102,0
P-valor	0,092	0,888	0,031	0,382	0,808
Sig. $P<0,05$	-	-	*	-	-
Sig. $P<0,1$	*	-	-	-	-

No se diferenciaron significativamente los valores de conductancia estomática entre los tratamientos de disposición del *canopy*, pero se pudo observar una tendencia decreciente de la conductancia estomática a lo largo del periodo de medidas en ambos tratamientos (tabla 10), lo que indica una reducción en el uso del agua por la planta.

Tabla 10. Conductancia estomática ($\text{mmol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$) medida los lunes a las 9 hs en los tratamientos de disposición del *canopy*: T07 y T7A. Significación estadística: $p<0,05$ y $p<0,1$.

Tratamiento	G_9 - lunes			
	19-jul.	9-ago.	23-ago.	30-ago.
T07	152,6	132,1	71,7	96,8
T7A	154,4	122,4	72,8	84,8
Media	153,5	127,3	72,2	90,8
P-valor	0,836	0,156	0,934	0,404
Sig. $P<0,05$	-	-	-	-
Sig. $P<0,1$	-	-	-	-

Jueves

La conductancia estomática medida los jueves a las 9 hs, en hojas expuestas al sol en la cara este de la espaldera, no se vio favorecida por el riego aplicado a medida que avanzaba el ciclo vegetativo, sino que disminuyó de manera progresiva, salvo en algunos días de medida en que pudo verse afectada por las condiciones ambientales en el momento de medida, pasando de valores en torno a 155 a valores cercanos a 60 $\text{mmol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ (tabla 11).

Tabla 11. Conductancia estomática ($\text{mmol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$) medida los jueves a las 9 hs en los tratamientos de frecuencia de riego: T03, T07 y T15. Significación estadística: $p<0,05$ y $p<0,1$.

Tratamiento	G_9 - jueves						
	15-jul.	22-jul.	5-ago.	12-ago.	26-ago.	23-sep.	30-sep.
T03	147,8	124,3	131,3	90,6	83,9	54,9	71,4
T07	150,3	123,8	139,8	95,4	91,5	63,8	79,6
T15	163,8	121,5	143,5	97,4	96,2	63,7	80,8
Media	153,9	123,2	138,2	94,5	90,5	60,8	77,3
P-valor	0,383	0,786	0,167	0,593	0,622	0,461	0,664
Sig. $P<0,05$	-	-	-	-	-	-	-
Sig. $P<0,1$	-	-	-	-	-	-	-

La conductancia estomática no permitió diferenciar significativamente entre los tratamientos de *canopy* abierto y cerrado, pero se pudo observar que el tratamiento de *canopy* cerrado alcanzó en general valores de conductancia estomática ligeramente más altos que el tratamiento de apertura del *canopy*, aunque ambos tratamientos mostraron la misma tendencia decreciente de la conductancia estomática a lo largo del tiempo de medidas (tabla 12).

Tabla 12. Conductancia estomática ($\text{mmol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$) medida los jueves a las 9 hs en los tratamientos de disposición del *canopy*: T03, T07 y T15. Significación estadística: $p<0,05$ y $p<0,1$.

Tratamiento	G ₉ - 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
T7A	142,5	117,1	138,5	91,1	78,4	63,0	72,8
Media	146,4	120,4	139,1	93,3	85,0	63,4	76,2
P-valor	0,444	0,135	0,830	0,516	0,271	0,905	0,474
Sig. P<0,05	-	-	-	-	-	-	-
Sig. P<0,1	-	-	-	-	-	-	-

4.2.2. Transpiración

Lunes

En general, la transpiración medida los lunes a las 9 hs, en hojas expuestas al sol en la cara este de la espaldera, no permitió diferenciar estadísticamente entre los tratamientos de frecuencia de riego, a excepción de una medida a principios de julio en la que el tratamiento T15 presentó un valor de transpiración menor que el tratamiento T07 (tabla 13). La transpiración mostró una tendencia irregular en su evolución, muy dependiente del día de medida.

Tabla 13. Transpiración ($\text{mmol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$) medida los lunes a las 9 hs en los tratamientos de frecuencia de riego: T03, T07 y T15. Significación estadística: $p<0,05$ y $p<0,1$ (Letras distintas corresponden a valores estadísticos significativamente diferentes).

Tratamiento	E ₉ - lunes				
	12-jul.	19-jul.	9-ago.	23-ago.	30-ago.
T03	2,47 ab	6,20	5,04	3,22	4,89
T07	2,77 a	6,34	5,12	2,74	4,13
T15	2,30 b	6,18	4,76	2,69	4,66
Media	2,51	6,24	4,97	2,88	4,56
P-valor	0,090	0,812	0,504	0,301	0,279
Sig. P<0,05	-	-	-	-	-
Sig. P<0,1	*	-	-	-	-

La transpiración medida en los tratamientos de *canopy* abierto y cerrado no permitió diferenciarlos estadísticamente (tabla 14). Los valores de transpiración de ambos tratamientos mostraron una tendencia más bien decreciente a lo largo del periodo de medidas.

Tabla 14. Transpiración ($\text{mmol.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$) medida los lunes a las 9 hs en los tratamientos de disposición del *canopy*: T07 y T7A. Significación estadística: $p<0,05$ y $p<0,1$.

Tratamiento	E ₉ - lunes			
	19-jul.	9-ago.	23-ago.	30-ago.
T07	6,34	5,12	2,74	4,13
T7A	6,40	5,03	2,82	3,62
Media	6,37	5,07	2,78	3,87
P-valor	0,790	0,746	0,825	0,309
Sig. P<0,05	-	-	-	-
Sig. P<0,1	-	-	-	-

Jueves

La transpiración medida los jueves a las 9 hs, en hojas expuestas al sol en la cara este de la espaldera, presentó un comportamiento muy correlacionado con la fotosíntesis neta. Dicho comportamiento no permitió diferenciar estadísticamente los tratamientos de frecuencia de riego salvo en una medida a principios de agosto, registrando una mayor transpiración en los tratamientos con menor frecuencia de riego (T07 y T15) que en el tratamiento con mayor frecuencia de riego (T03) (tabla 15). La transpiración decreció claramente en septiembre.

Tabla 15. Transpiración ($\text{mmol.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$) medida los jueves a las 9 hs en los tratamientos de frecuencia de riego: T03, T07 y T15. Significación estadística: $p<0,05$ y $p<0,1$ (Letras distintas corresponden a valores estadísticos significativamente diferentes).

Tratamiento	E ₉ - jueves						
	15-jul.	22-jul.	5-ago.	12-ago.	26-ago.	23-sep.	30-sep.
T03	4,48	6,15	4,95 b	4,98	4,78	1,70	2,39
T07	4,29	6,11	5,28 a	4,97	5,13	2,03	2,79
T15	4,62	6,06	5,45 a	5,16	5,29	1,96	2,71
Media	4,46	6,11	5,23	5,03	5,07	1,90	2,63
P-valor	0,547	0,922	0,018	0,713	0,508	0,362	0,308
Sig. P<0,05	-	-	*	-	-	-	-
Sig. P<0,1	-	-	-	-	-	-	-

La transpiración medida en los tratamientos de disposición del *canopy* permitió discernir estadísticamente entre los tratamientos de *canopy* abierto y cerrado en una medida a finales de agosto, en la cual se registró mayor transpiración en el tratamiento de *canopy* cerrado (tabla 16). En las medidas de julio se pudo observar un valor de transpiración ligeramente más elevado en el tratamiento de *canopy* cerrado que en el de *canopy* abierto, al revés que en la primera quincena de agosto, lo que indica un mayor consumo de agua, al igual que se reflejó en el estudio de Valentini *et al.* (2019).

Tabla 16. Transpiración ($\text{mmol.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$) medida los jueves a las 9 hs en los tratamientos de disposición del *canopy*: T07 y T7A. Significación estadística: $p<0,05$ y $p<0,1$.

Tratamiento	E ₉ - 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
T7A	4,17	5,95	5,39	5,04	4,43	2,06	2,74
Media	4,23	6,03	5,34	5,00	4,78	2,04	2,77
P-valor	0,626	0,337	0,536	0,802	0,066	0,902	0,848
Sig. P<0,05	-	-	-	-	-	-	-
Sig. P<0,1	-	-	-	-	*	-	-

4.2.3. Fotosíntesis neta

Lunes

La fotosíntesis neta medida los lunes a las 9 hs, en hojas expuestas al sol en la cara este de la espaldera, no mostró diferencias estadísticamente significativas entre los tratamientos de frecuencia de riego (tabla 17), aunque presentó valores ligeramente inferiores en T15 que en los otros tratamientos en algunas fechas de medida.

Tabla 17. Fotosíntesis neta ($\mu\text{mol.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$) medida los lunes a las 9 hs en los tratamientos de frecuencia de riego: T03, T07 y T15. Significación estadística: $p<0,05$ y $p<0,1$.

Tratamiento	A ₉ - lunes				
	12-jul.	19-jul.	9-ago.	23-ago.	30-ago.
T03	20,3	25,9	24,4	19,9	19,6
T07	21,0	25,7	25,1	18,7	18,9
T15	19,1	25,6	22,6	17,4	19,0
Media	20,1	25,7	24,0	18,7	19,2
P-valor	0,219	0,975	0,313	0,502	0,886
Sig. P<0,05	-	-	-	-	-
Sig. P<0,1	-	-	-	-	-

Aunque los tratamientos de *canopy* abierto y cerrado no se pudieron diferenciar estadísticamente de forma significativa, se pudo observar que en las medidas realizadas en agosto se obtuvo un valor de fotosíntesis neta ligeramente más alto en el tratamiento de *canopy* cerrado (T07) (tabla 18). La tendencia de la fotosíntesis fue decreciente de julio a agosto.

Tabla 18. Fotosíntesis neta ($\mu\text{mol.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$) medida los lunes a las 9 hs en los tratamientos de disposición del *canopy*: T07 y T7A. Significación estadística: $p<0,05$ y $p<0,1$.

Tratamiento	A ₉ - lunes			
	19-jul.	9-ago.	23-ago.	30-ago.
T07	25,7	25,1	18,7	18,9
T7A	26,3	23,5	17,9	17,1
Media	26,0	24,3	18,3	18,0
P-valor	0,695	0,353	0,613	0,252
Sig. P<0,05	-	-	-	-
Sig. P<0,1	-	-	-	-

Jueves

La fotosíntesis neta medida los jueves a las 9 hs, en hojas expuestas al sol en la cara este de la espaldera, mostró una tendencia similar a la fotosíntesis neta medida los lunes, pero permitió diferenciar estadísticamente los tratamientos de menor frecuencia de riego (T07 y T15) del tratamiento con mayor frecuencia de riego (T03) a principios de agosto (tabla 19). Los valores de fotosíntesis decrecieron claramente en la segunda quincena de agosto y en septiembre.

Tabla 19. Fotosíntesis neta ($\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$) medida los jueves a las 9 hs en los tratamientos de frecuencia de riego: T03, T07 y T15. Significación estadística: $p<0,05$ y $p<0,1$ (Letras distintas corresponden a valores estadísticos significativamente diferentes).

Tratamiento	A ₉ - jueves						
	15-jul.	22-jul.	5-ago.	12-ago.	26-ago.	23-sep.	30-sep.
T03	21,2	27,3	22,7 b	21,5	18,1	15,2	15,6
T07	20,6	25,8	25,4 a	22,7	20,2	15,2	16,0
T15	21,6	26,9	25,3 a	23,0	20,4	16,5	15,7
Media	21,1	26,7	24,5	22,4	19,6	15,6	15,8
P-valor	0,723	0,208	0,023	0,714	0,421	0,383	0,916
Sig. P<0,05	-	-	*	-	-	-	-
Sig. P<0,1	-	-	-	-	-	-	-

La fotosíntesis neta medida en los tratamientos de disposición del *canopy* no permitió diferenciar estadísticamente los tratamientos estudiados, pero se observó que la fotosíntesis neta del tratamiento de *canopy* cerrado fue ligeramente mayor que la del tratamiento de *canopy* abierto en la mayoría de las medidas durante julio y agosto (tabla 20).

Tabla 20. Fotosíntesis neta ($\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$) medida los jueves a las 9 hs en los tratamientos de disposición del *canopy*: T07 y T7A. Significación estadística: $p<0,05$ y $p<0,1$.

Tratamiento	A ₉ - 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
T7A	19,9	25,1	24,5	21,6	19,0	15,7	15,7
Media	20,2	25,4	25,0	22,2	19,6	15,5	15,9
P-valor	0,269	0,438	0,224	0,588	0,449	0,541	0,759
Sig. P<0,05	-	-	-	-	-	-	-
Sig. P<0,1	-	-	-	-	-	-	-

4.3. Desarrollo vegetativo y producción

El desarrollo vegetativo no presentó diferencias estadísticamente significativas en la mayoría de los parámetros entre los tratamientos de frecuencia de riego, pero permitió observar un aumento de la madera de poda, junto con un mayor número de sarmientos, en el tratamiento con mayor frecuencia de riego, cada 3 días (T03), que en los tratamientos con menor frecuencia de riego, cada 7 y 15 días, T07 y T15, respectivamente. Sin embargo, el peso de madera de poda no se correspondió con el

peso de sarmiento, siendo éste mayor en el tratamiento con menor frecuencia de riego (T15), que en los otros dos tratamientos (tabla 21).

La superficie foliar total y la superficie foliar externa no mostraron diferencias estadísticamente significativas entre los tratamientos de frecuencia de riego, pero se observó una mayor superficie foliar total y una menor superficie foliar externa en el tratamiento de mayor frecuencia de riego (T03) que en el resto (T07 y T15) (tabla 21).

Tabla 21. N° total de sarmientos, Peso de Madera (g. cepa⁻¹), Peso del Sarmiento (g), Índice de Ravaz; índices de área foliar (LAI) y de superficie foliar externa (SA). Tratamientos de frecuencia de riego: T03, T07 y T15. Significación estadística: p<0,05 y p<0,1 (Letras distintas corresponden a valores estadísticos significativamente diferentes).

Trat.	Nº total sarmientos	Peso Madera	Peso Sarmiento	Índice Ravaz	LAI	SA
T03	19,1 a	980,6	51,4	0,71	2,24	1,05
T07	18,8 a	942,8	50,3	0,71	2,17	1,10
T15	17,6 b	925,3	53,2	0,73	2,10	1,11
Media	18,5	949,5	51,7	0,72	2,17	1,09
P-valor	0,034	0,421	0,362	0,967	0,184	0,465
Sig. P<0,05	*	-	-	-	-	-
Sig. P<0,1		-	-	-	-	-

Los parámetros de producción no permitieron diferenciar significativamente los tratamientos de frecuencia de riego, aunque se pudo observar una ligera tendencia hacia mayor producción, mayor peso de racimo y mayor peso de baya en el tratamiento de mayor frecuencia de riego (T03) que en el resto de los tratamientos (tabla 22).

Tabla 22. Número de racimos por cepa, Producción de uva (kg. cepa⁻¹), Peso de racimo (g), Peso de baya (g), Número de bayas por racimo, Rendimiento (t. ha⁻¹). Tratamientos de frecuencia de riego: T03, T07 y T15. Significación estadística: p<0,05 y p<0,1.

Tratamiento	Racimos / cepa	Producción	Peso de racimo	Peso de baya	Nº bayas / racimo	Rendimiento
T03	7,71	0,69	89,6	1,36	63,7	1,93
T07	7,67	0,67	87,9	1,41	62,3	1,87
T15	7,70	0,68	88,1	1,43	61,6	1,90
Media	7,69	0,68	88,6	1,40	62,6	1,85
P-valor	0,999	0,974	0,893	0,133	0,769	0,980
Sig. P<0,05	-	-	-	-	-	-
Sig. P<0,1	-	-	-	-	-	-

Se observaron diferencias estadísticamente significativas tanto en los parámetros de desarrollo vegetativo como de producción entre los tratamientos de disposición del *canopy* abierto y cerrado. En cuanto al desarrollo vegetativo, se registró un mayor número de sarmientos de menor peso, aunque correspondiente con un peso de madera de poda similar, en el tratamiento de *canopy* abierto (T7A) que en el tratamiento de *canopy* cerrado (T07) (tabla 23).

En el tratamiento de *canopy* abierto se apreció un aumento de la superficie foliar expuesta, lo que indica una mayor intercepción de la luz con respecto al tratamiento de *canopy* cerrado. Sin embargo, el tratamiento de *canopy* abierto apenas mostró

diferencia en el índice de área foliar total con el tratamiento de *canopy* cerrado (tabla 23).

Tabla 23. Nº total de sarmientos, Peso de Madera (g. cepa⁻¹), Peso del Sarmiento (g), índice de Ravaz; índices de área foliar (LAI) y de superficie foliar externa (SA). Tratamientos de disposición del *canopy*: T07 y T7A. Significación estadística: p<0,05 y p<0,1.

Tratamiento	Nº total sarmientos	Peso Madera	Peso Sarmiento	Índice Ravaz	LAI	SA
T07	18,8	942,8	50,3	0,71	2,17	1,10
T7A	22,2	942,1	42,4	0,68	2,22	1,47
Media	20,5	942,4	46,3	0,70	2,19	1,29
P-valor	0,019	0,992	0,011	0,793	0,671	0,000
Sig. P<0,05	*	-	*	-	-	*
Sig. P<0,1	-	-	-	-	-	-

En los parámetros de producción se observó un mayor número de racimos de menor peso, debido al menor número de bayas, por tanto, un rendimiento ligeramente inferior, en el tratamiento de *canopy* abierto (T7A) frente al tratamiento de *canopy* cerrado (T07) (tabla 24), a pesar de presentar una mayor superficie foliar expuesta.

Tabla 24. Número de racimos por cepa, Producción de uva (kg. cepa⁻¹), Peso de racimo (g), Peso de baya (g), Número de bayas por racimo, Rendimiento (t. ha⁻¹). Tratamientos de disposición del *canopy*: T07 y T7A. Significación estadística: p<0,05 y p<0,1.

Tratamiento	Racimos /cepa	Producción	Peso de racimo	Peso de baya	Nº bayas /racimo	Rendimiento
T07	7,7	0,67	87,9	1,41	62,3	1,87
T7A	8,8	0,63	71,3	1,39	51,3	1,74
Media	8,3	0,65	79,6	1,40	56,8	1,80
P-valor	0,168	0,386	0,001	0,607	0,001	0,389
Sig. P<0,05	-	-	*	-	*	-
Sig. P<0,1	-	-	-	-	-	-

4.4. Composición de la uva

La composición de la uva en los tratamientos de frecuencia de riego presentó diferencias significativas en los parámetros de concentración de azúcares y pH. La concentración de azúcares fue significativamente mayor y similar entre sí, en los tratamientos de menor frecuencia de riego, T07 y T15, con valores de 22,9 y 23,0 °brix, respectivamente, que en el tratamiento con mayor frecuencia de riego, en el que la concentración de azúcares fue de 21,9 °brix. El pH fue significativamente menor en el tratamiento T03 que en los otros dos tratamientos, T07 y T15, con una diferencia en torno a 0,08 (tabla 25). El resto de parámetros no mostró diferencias reseñables entre tratamientos, aunque T03 mostró un valor de ácido málico mayor que T07 y T15, mientras que T15 presentó mayor nivel de potasio.

Tabla 25. Concentración de azúcares (%brix), pH, Acidez total (g/LTH₂), Ácido tartárico (g/L), Ácido málico (g/L), Potasio (mg/L), Índice de Polifenoles Totales (IPT). Tratamientos de frecuencia de riego: T03, T07 y T015. Significación estadística: p<0,05 y p<0,1 (Letras distintas corresponden a valores estadísticos significativamente diferentes).

Tratamiento	Azúcares	pH	Acidez Total	Ácido Tartárico	Ácido Málico	Potasio	IPT
T03	21,9 b	3,24 b	10,69	4,97	7,80	2155	28
T07	22,9 a	3,31 ab	10,38	4,98	7,30	2140	27
T15	23,0 a	3,32 a	9,73	5,00	7,17	2235	28
Media	22,6	3,29	10,27	4,98	7,43	2177	28
P-valor	0,000	0,074	0,246	0,876	0,324	0,297	0,297
Sig. P<0,05	*	-	-	-	-	-	-
Sig. P<0,1		*	-	-	-	-	-

No se detectaron diferencias estadísticamente significativas en la composición de la uva de los tratamientos de disposición del *canopy* abierto y cerrado (tabla 26), aunque se observó un ligero aumento de la concentración de azúcares en el tratamiento de *canopy* cerrado (T07), como obtuvieron Valentini *et al.* (2019) en su estudio, así como valores ligeramente más altos de ácido málico y de potasio que en el tratamiento de *canopy* abierto (T7A).

Tabla 26. Concentración de azúcares (%brix), pH, Acidez total (g/L TH₂), Ácido tartárico (g/L), Ácido málico (g/L), Potasio (mg/L), Índice de Polifenoles Totales (IPT). Tratamientos de disposición del *canopy*: T07 y T7A. Significación estadística: p<0,05 y p<0,1.

Trat.	Azúcares	pH	Acidez Total	Ácido Tartárico	Ácido Málico	Potasio	IPT
T07	22,9	3,31	10,38	4,98	7,30	2140	27
T7A	22,7	3,30	10,05	5,10	6,92	2093	27
Media	22,8	3,31	10,21	5,04	7,11	2116	27
P-valor	0,207	0,847	0,494	0,145	0,284	0,431	0,431
Sig. P<0,05	-	-	-	-	-	-	-
Sig. P<0,1	-	-	-	-	-	-	-

5. CONCLUSIONES

Los resultados se han centrado en evaluar la influencia de la frecuencia de riego deficitario de tres tratamientos (2 riegos/semana, 1 riego/semana y 1 riego/2 semanas) y la influencia de la disposición de la superficie foliar de dos tratamientos (*canopy* abierto y *canopy* cerrado), mediante los siguientes tipos de parámetros: potencial hídrico, intercambio gaseoso, desarrollo vegetativo, producción y composición de la uva.

En las condiciones de estudio, ni la frecuencia de riego ni la disposición del *canopy* han permitido discriminar claramente los tratamientos estudiados en cuanto a potencial hídrico foliar y de xilema y a intercambio gaseoso.

El potencial hídrico foliar (7 hs), que mostró una tendencia bastante constante de valores, no mostró diferencias significativas entre frecuencias de riego, ni apenas entre tratamientos de disposición del *canopy*.

El potencial hídrico de xilema (12 hs), que fue más bien progresivamente decreciente, mostró algunos valores más negativos debidos a una mayor frecuencia de riego y a la apertura del *canopy*.

El intercambio gaseoso (9 hs) mostró una tendencia descendente en general. La conductancia estomática apenas mostró alguna reducción con la menor frecuencia de riego, mientras que no se pudo observar diferencia apreciable debida a la apertura del *canopy*. La transpiración presentó un comportamiento irregular, pudiendo estar afectada por el día de medida, con algunos valores más bajos asociados a una menor frecuencia de riego los lunes y a una mayor frecuencia los jueves, sin diferencia apreciable debida a la disposición del *canopy*. La fotosíntesis presentó algunos valores ligeramente más altos los lunes y más bajos los jueves asociados a una mayor frecuencia de riego, sin diferencia apreciable ocasionada por la apertura del *canopy*.

El desarrollo vegetativo y la superficie foliar externa no mostraron diferencias muy notables entre tratamientos. Sin embargo, se pudo observar una ligera reducción de la madera de poda, y del LAI asociada a la menor frecuencia de riego, con más sarmientos de menor peso individual. Por otro lado, la apertura del *canopy* no modificó el peso de madera de poda, a pesar de mostrar mayor número de sarmientos, por ser de menor peso, pero aumentó claramente la superficie foliar externa.

La producción no mostró diferencias significativas entre los tratamientos de frecuencia de riego ni de disposición del *canopy*, aunque el *canopy* abierto presentó mayor número de racimos de menor peso, asociado al menor número de bayas, dando como resultado un rendimiento ligeramente inferior que el *canopy* cerrado.

La concentración de azúcares y el pH resultaron inferiores, mientras que el ácido málico resultó ligeramente superior, en la mayor frecuencia de riego. Por el contrario, la menor frecuencia de riego mostró mayor nivel de potasio. Por otra parte, la disposición del *canopy* no mostró diferencias apreciables, con apenas un ligero aumento de azúcares, ácido málico y potasio en el tratamiento de *canopy* cerrado.

AGRADECIMIENTOS

El Trabajo de Fin de Grado se ha realizado en el marco del proyecto *WFW-Irrivitis* financiado por el Ministerio de Ciencia e Innovación. Especialmente, quiero agradecer a mi director, Jesús Yuste Bombín, y a mi tutora, Josefina Vila Crespo, por darme la oportunidad de realizar mi TFG sobre este proyecto y ayudarme en todo momento. También quiero agradecer el apoyo recibido por los miembros integrantes del equipo de viticultura del proyecto del ITACyL, en especial, a Daniel Martínez Porro.

BIBLIOGRAFÍA

- Alatzas, A., Theocharis, S., Miliordos, D., Leontaridou, K., Kanellis, A. K., Kotseridis, Y., Hatzopoulos, P., & Koundouras, S. (2021). The effect of water deficit on two Greek *Vitis vinifera* L. cultivars: physiology, grape composition and gene expression during berry development. *Plants*, 10(9), 1–19. <https://doi.org/10.3390/plants10091947>
- Baeza, P., Junquera, P., Peiro, E., Ramón Lissarrague, J., Uriarte, D., & Vilanova, M. (2019). Effects of vine water status on yield components, vegetative response and must and wine composition. *Advances in Grape and Wine Biotechnology*. <https://doi.org/10.5772/intechopen.87042>
- Buesa, I., Ballester, C., Mirás-Avalos, J. M., & Intrigliolo, D. S. (2020). Effects of leaning grapevine canopy to the West on water use efficiency and yield under Mediterranean conditions. *Agricultural and Forest Meteorology*, 295(7). <https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2020.108166>
- Carbonneau, A., & Costanza, P. (2004). Response of vine leaf water potential to quick variation in canopy exposure. Example of canopy opening manipulation of Merlot (*Vitis vinifera* L.). *Journal International Des Sciences de La Vigne et Du Vin*, 38(1), 27–33. <https://doi.org/10.20870/oeno-one.2004.38.1.929>
- Chacón-Vozmediano, J. L., Martínez-Gascueña, J., García-Navarro, F. J., & Jiménez-Ballesta, R. (2020). Effects of water stress on vegetative growth and 'Merlot' grapevine yield in a semi-arid Mediterranean climate. *Horticulturae*, 6(4), 95. <https://doi.org/doi:10.3390/horticulturae6040095>
- Chaves, M. M., Santos, T. P., Souza, C. R., Ortuño, M. F., Rodrigues, M. L., Lopes, C. M., Maroco, J. P., & 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. <https://doi.org/10.1111/j.1744-7348.2006.00123.x>
- Cifre, J., Bota, J., Escalona, J. M., Medrano, H., & Flexas, J. (2005). Physiological tools for irrigation scheduling in grapevine (*Vitis vinifera* L.): An open gate to improve water-use efficiency? *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 106(2-3), 159–170. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2004.10.005>
- Dayer, S., Herrera, J. C., Dai, Z., Burlett, R., Lamarque, L. J., Delzon, S., ... & Gambetta, G. A. (2021). Nighttime transpiration represents a negligible part of water loss and does not increase the risk of water stress in grapevine. *Plant, cell & environment*, 44(2), 387–398.
- Deloire, A. (2012). A few thoughts on grapevine training systems. *Wineland Mag*, 274, 82–86.
- Favero, A. C., de Amorim, D. A., da Mota, R. V., de Souza, C. R., & de Albuquerque Regina, M. (2010). Physiological responses and production of "Syrah" vines as a function of training systems. *Scientia Agricola*, 67(3), 267–273. <https://doi.org/10.1590/S0103-90162010000300003>
- Gutiérrez-Gamboa, G., Zheng, W., & Martínez de Toda, F. (2021). Current viticultural techniques to mitigate the effects of global warming on grape and wine quality: A comprehensive review. *Food Research International*, 139(6). <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2020.109946>

- Haselgrove, L., Botting, D., Van Heeswijck, R., Høj, P. B., Dry, P. R., Ford, C., & Iland, P. G. (2000). Canopy microclimate and berry composition: The effect of bunch exposure on the phenolic composition of *Vitis vinifera* L. cv. Shiraz grape berries. *Australian Journal of Grape and Wine Research*, 6(2), 141–149. <https://doi.org/10.1111/j.1755-0238.2000.tb00173.x>
- Intrigliolo, D. S., & Castel, J. R. (2011). Interactive effects of deficit irrigation and shoot and cluster thinning on grapevine cv. Tempranillo. Water relations, vine performance and berry and wine composition. *Irrigation Science*, 29(6), 443–454. <https://doi.org/10.1007/s00271-010-0252-2>
- Intrigliolo, D. S., & Lakso, A. N. (2011). Effects of light interception and canopy orientation on grapevine water status and canopy gas exchange. *Acta Horticulturae*, 889, 99–104. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2011.889.9>
- Intrigliolo, D. S., Lizama, V., García-Esparza, M. J., Abrisqueta, I., & Álvarez, I. (2016). Effects of post-veraison irrigation regime on Cabernet Sauvignon grapevines in Valencia, Spain: Yield and grape composition. *Agricultural Water Management*, 170, 110–119. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2015.10.020>
- Junquera, P., Lissarrague, J. R., Jiménez, L., Linares, R., & Baeza, P. (2012). Long-term effects of different irrigation strategies on yield components, vine vigour, and grape composition in cv. Cabernet-Sauvignon (*Vitis vinifera* L.). *Irrigation Science*, 30(5), 351–361. <https://doi.org/10.1007/s00271-012-0348-y>
- Katerji, N., Daudet, F. A., Carbonneau, A., & Ollat, N. (1994). Etude à l'échelle de la plante entière du fonctionnement hydrique et photosynthétique de la vigne : comparaison des systèmes de conduite traditionnel et en Lyre. *Vitis - Journal of Grapevine Research*, 33(4), 197–203.
- Keller, M., Romero, P., Gohil, H., Smithyman, R. P., Riley, W. R., Casassa, L. F., & Harbertson, J. F. (2016). Deficit irrigation alters grapevine growth, physiology, and fruit microclimate. *American Journal of Enology and Viticulture*, 67(4), 426–435. <https://doi.org/10.5344/ajev.2016.16032>
- Kraus, C., Pennington, T., Herzog, K., Hecht, A., Fischer, M., Voegele, R. T., Hoffmann, C., Töpfer, R., & Kicherer, A. (2018). Effects of canopy architecture and microclimate on grapevine health in two training systems. *Vitis - Journal of Grapevine Research*, 57(2), 53–60. <https://doi.org/10.5073/vitis.2018.57.53-60>
- Kyrleou, M., Kallithraka, S., Koundouras, S., Chira, K., Haroutounian, S., Spinthiropoulou, H., & Kotseridis, Y. (2015). Effect of vine training system on the phenolic composition of red grapes (*Vitis vinifera* L. cv. Xinomavro). *Journal International Des Sciences de La Vigne et Du Vin*, 49(1), 71–84. <https://doi.org/10.20870/oeno-one.2015.49.2.92>
- Liu, M. Y., Chi, M., Tang, Y. H., Song, C. Z., Xi, Z. M., & Zhang, Z. W. (2015). Effect of three training systems on grapes in a wet region of China: Yield, incidence of disease and anthocyanin compositions of *Vitis vinifera* cv. Cabernet Sauvignon. *Molecules*, 20(10), 18967–18987. <https://doi.org/10.3390/molecules201018967>
- Lizama, V., Pérez-Álvarez, E. P., Intrigliolo, D. S., Chirivella, C., Álvarez, I., & García-Esparza, M. J. (2021). Effects of the irrigation regimes on grapevine cv. Bobal in a Mediterranean climate: II. Wine, skins, seeds, and grape aromatic composition. *Agricultural Water Management*, 256(7). <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2021.107078>

- Medrano, H., Escalona, J. M., Cifre, J., Bota, J., & Flexas, J. (2003). A ten-year study on the physiology of two Spanish grapevine cultivars under field conditions: effects of water availability from leaf photosynthesis to grape yield and quality. *Functional Plant Biology*, 30(6), 607-619.
- Medrano, H., Tomás, M., Martorell, S., Escalona, J. M., Pou, A., Fuentes, S., Flexas, J., & Bota, J. (2015). Improving water use efficiency of vineyards in semi-arid regions. A review. *Agronomy for Sustainable Development*, 35(2), 499–517. <https://doi.org/10.1007/s13593-014-0280-z>
- Mirás-Avalos, J. M., & Araujo, E. S. (2021). Optimization of vineyard water management: Challenges, strategies, and perspectives. *Water*, 13(6), 746. <https://doi.org/10.3390/w13060746>
- Mirás-Avalos, J. M., Trigo-Córdoba, E., Bouzas-Cid, Y., & Orriols-Fernández, I. (2016). Irrigation effects on the performance of grapevine (*Vitis vinifera* L.) cv. “Albariño” under the humid climate of Galicia. *OENO One*, 50(4), 183–194. <https://doi.org/10.20870/oeno-one.2016.50.4.63>
- Monteiro, A. I., Malheiro, A. C., & Bacelar, E. A. (2021). Morphology, physiology and analysis techniques of grapevine bud fruitfulness: A review. *Agriculture*, 11(2), 127. <https://doi.org/10.3390/agriculture11020127>
- Montoro, A., Mañas, F., & López-Urrea, R. (2016). Transpiration and evaporation of grapevine, two components related to irrigation strategy. *Agricultural Water Management*, 177, 193–200. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2016.07.005>
- Myburgh, P. A. (2012). Comparing irrigation systems and strategies for table grapes in the weathered granite-gneiss soils of the Lower Orange River region. *South African Journal of Enology and Viticulture*, 33(2), 184–197.
- Ojeda, H., Deloire, A., & Carbonneau, A. (2001). Influence of water deficits on grape berry growth. *VITIS-GEILWEILERHOF*, 40(3), 141–145.
- Palliotti, A., Tombesi, S., Silvestroni, O., Lanari, V., Gatti, M., & Poni, S. (2014). Changes in vineyard establishment and canopy management urged by earlier climate-related grape ripening: A review. *Scientia Horticulturae*, 178, 43–54. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2014.07.039>
- Pascual, M., Romero, M. P., Rufat, J., & Villar, J. M. (2015). Canopy management in rainfed vineyards (cv. Tempranillo) for optimising water use and enhancing wine quality. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 95(15), 3067-3076.
- Pérez-Álvarez, E. P., Intrigliolo Molina, D. S., Vivaldi, G. A., García-Esparza, M. J., Lizama, V., & Álvarez, I. (2021). Effects of the irrigation regimes on grapevine cv. Bobal in a Mediterranean climate: I. Water relations, vine performance and grape composition. *Agricultural Water Management*, 248(2). <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2021.106772>
- Peterlunger, E., Celotti, E., Da Dalt, G., Stefanelli, S., Gollino, G., & Zironi, R. (2002). Effect of training system on Pinot noir grape and wine composition. *American Journal of Enology and Viticulture*, 53(1), 14–18.
- Reynolds, A. G., & Vanden Heuvel, J. E. (2009). Influence of grapevine training systems on vine growth and fruit composition: A review. *American Journal of Enology and Viticulture*, 60(3), 251–268.

- Ribeiro, A. C., & Andrade, J. V. (2013). Effect of two grapevine (*Vitis vinifera* L., cv Tinta Roriz) training systems on leaf gas exchange and water use efficiency. In *VII Congreso Ibérico de Agroingeniería y Ciencias Hortícolas*.
- Romero, P., García García, J., Fernández-Fernández, J. I., Gil Muñoz, R., del Amor Saavedra, F., & Martínez-Cutillas, A. (2016). Improving berry and wine quality attributes and vineyard economic efficiency by long-term deficit irrigation practices under semiarid conditions. *Scientia Horticulturae*, 203, 69–85. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2016.03.013>
- Romero, P., Navarro, J. M., & Ordaz, P. B. (2022). Towards a sustainable viticulture: The combination of deficit irrigation strategies and agroecological practices in Mediterranean vineyards. A review and update. *Agricultural Water Management*, 259(9), 107216. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2021.107216>
- Ruiz-Sanchez, M. C., Domingo, R., & Castel, J. R. (2010). Review. Deficit irrigation in fruit trees and vines in Spain. *Spanish Journal of Agricultural Research*, 8(2), 5-20. <https://doi.org/10.5424/sjar/201008s2-1343>
- Santos, J. A., Fraga, H., Malheiro, A. C., Moutinho-Pereira, J., Dinis, L.-T., Correia, C., Moriondo, M., Leolini, L., Dibari, C., Costafreda-Aumedes, S., Kartschall, T., Menz, C., Molitor, D., Junk, J., Beyer, M., & Schultz, H. R. (2020). A review of the potential climate change impacts and adaptation options for European viticulture. *Applied Sciences*, 10(9), 3092. <https://doi.org/10.3390/app10093092>
- Scholasch, T., & Rienh, M. (2019). Review of water deficit mediated changes in vine and berry physiology; Consequences for the optimization of irrigation strategies. *OENO One*, 53(3), 423–444. <https://doi.org/10.20870/oenone.2019.53.3.2329>
- Sebastian, B., Baeza, P., Santesteban, L. G., Sanchez de Miguel, P., De La Fuente, M., & Lissarrague, J. R. (2015). Response of grapevine cv. Syrah to irrigation frequency and water distribution pattern in a clay soil. *Agricultural Water Management*, 148, 269–279. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2014.10.017>
- Sebastian, B., Lissarrague, J. R., Santesteban, L. G., Linares, R., Junquera, P., & Baeza, P. (2016). Effect of irrigation frequency and water distribution pattern on leaf gas exchange of cv. 'Syrah' grown on a clay soil at two levels of water availability. *Agricultural Water Management*, 177, 410–418. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2016.08.032>
- Sharma, A., Kumar, V., Shahzad, B., Ramakrishnan, M., Singh Sidhu, G. P., Bali, A. S., Handa, N., Kapoor, D., Yadav, P., Khanna, K., Bakshi, P., Rehman, A., Kohli, S. K., Khan, E. A., Parihar, R. D., Yuan, H., Thukral, A. K., Bhardwaj, R., & Zheng, B. (2020). Photosynthetic Response of Plants Under Different Abiotic Stresses: a review. *Journal of Plant Growth Regulation*, 39(2), 509–531. <https://doi.org/10.1007/s00344-019-10018-x>
- Smart, R.E. (1985). Principles of grapevine canopy microclimate manipulation with implications for yield and quality. A review. *American Journal of Enology and Viticulture*, 36(3), 230–239.
- Smart, R.E., Dick, J. K., Gravett, I. M., & Fisher, B. M. (1990). Canopy management to improve grape yield and wine quality - Principles and practices. *South African Journal of Enology & Viticulture*, 11(1), 3–17. <https://doi.org/10.21548/11-1-2232>
- Smart, R.E., & Smith, S. M. (1988). Canopy management: indentifying the problems and

- practical solutions. *Second International Cool Climate Viticulture and Oenology Symposium, January*, 109–115.
- Torres, N., Goicoechea, N., & Carmen Antolín, M. (2018). Influence of irrigation strategy and mycorrhizal inoculation on fruit quality in different clones of Tempranillo grown under elevated temperatures. *Agricultural Water Management*, 202, 285–298. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2017.12.004>
- Trigo-Córdoba, E., Bouzas-Cid, Y., Orriols-Fernández, I., & Mirás-Avalos, J. M. (2015). Effects of deficit irrigation on the performance of grapevine (*Vitis vinifera* L.) cv. “Godello” and “Treixadura” in Ribeiro, NW Spain. *Agricultural Water Management*, 161, 20–30. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2015.07.011>
- Uriarte, D., Intrigliolo, D. S., Mancha, L. A., Picón-Toro, J., Valdes, E., & Prieto, M. H. (2015). Interactive effects of irrigation and crop level on Tempranillo vines in a semiarid climate. *American Journal of Enology and Viticulture*, 66(2), 101–111. <https://doi.org/10.5344/ajev.2014.14036>
- Uriarte, D., Intrigliolo, D. S., Mancha, L. A., Valdés, E., Gamero, E., & Prieto, M. H. (2016). Combined effects of irrigation regimes and crop load on “Tempranillo” grape composition. *Agricultural Water Management*, 165, 97–107. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2015.11.016>
- Valentini, G., Allegro, G., Pastore, C., Colucci, E., Magnanini, E., & Filippetti, I. (2019). Climate change and vine training systems: the influence different spatial distribution of shoots may have on sugar accumulation in Sangiovese grapevines. *BIO Web of Conferences*, 13, 04006. <https://doi.org/10.1051/bioconf/20191304006>
- Venios, X., Korkas, E., Nisiotou, A., & Banilas, G. (2020). Grapevine responses to heat stress and global warming. *Plants*, 9(12), 1–15. <https://doi.org/10.3390/plants9121754>
- Vilanova, M., Rodríguez-Nogales, J. M., Vila-Crespo, J., & Yuste, J. (2018). Influence of water regime on yield components, must composition and wine volatile compounds of *Vitis vinifera* cv. Verdejo. *Australian Journal of Grape and Wine Research*, 25(1), 83-91. <https://doi.org/10.1111/ajgw.12370>
- Wimmer, M., Workmaster, B. A., & Atucha, A. (2018). Training systems for cold climate interspecific hybrid grape cultivars in northern climate regions. *HortTechnology*, 28(2), 202–211. <https://doi.org/10.21273/HORTTECH03946-17>
- Yuste, J., Vicente, A., & Martínez-Porro, D. (2018). La dosis de riego en cv. Verdejo: Estado hídrico, efectos fisiológicos y repercusión agronómica en la D.O. Rueda. Instituto Tecnológico Agrario de Castilla y León. CN Riegos XXXVI, Valladolid. <https://doi.org/10.25028/cnriegos.2018.a02>
- Zufferey, V., Verdenal, T., Dienes, A., Belcher, S., Lorenzini, F., Koestel, C., Blackford, M., Bourdin, G., Gindro, K., Spangenberg, J. E., Rösti, J., Viret, O., Carlen, C., & Spring, J. L. (2020). The influence of vine water regime on the leaf gas exchange, berry composition and wine quality of Arvine grapes in Switzerland. *OENO One*, 54(3), 553–568. <https://doi.org/10.20870/oeno-one.2020.54.3.3106>
- Zurowietz, A., Lehr, P., Kleb, M., Merkt, N., Gödde, V., Bednarz, H., Niehaus, K., & Zörb, C. (2022). Training grapevines generates a metabolomic signature of wine. 368. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2021.130665>