



Universidad
Politécnica
de Cartagena



**Máster Universitario en
Técnicas Avanzadas en Investigación y
Desarrollo Agrario y Alimentario**

**Estudio comparativo de las relaciones
hídricas y producción en uva de mesa
bajo riego deficitario (RD) y desecación
parcial de raíces (DPR). Efecto del
déficit continuo y controlado.**

Comparative study of water relations and table grape production under deficit irrigation (DI) and partial root drying (PRD). Effect of continuous and regulated deficit.

Alumno: M^a CRISTINA MARTÍNEZ BARBA

Director: ALEJANDRO PÉREZ PASTOR

Septiembre, 2015

AGRADECIMIENTOS

Dar las gracias al Dr. Alejandro Pérez Pastor, director de este Trabajo, por brindarme la oportunidad de realizar este Trabajo fin de Máster dentro del grupo Suelo-Agua-Planta y por su estimada ayuda en la corrección del documento.

A Charo Conesa Saura, increíble amiga y compañera de laboratorio por la valiosa ayuda prestada con su inmensa paciencia, dedicación, profesionalidad y esfuerzo, sin la cual no hubiera sido posible la realización de este trabajo.



UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE CARTAGENA

Departamento de Producción Vegetal
Paseo Alfonso XIII, 48. 30203 Cartagena.

ALEJANDRO PÉREZ PASTOR, DR. INGENIERO AGRÓNOMO, PROFESOR TITULAR DE UNIVERSIDAD DEL DEPARTAMENTO DE PRODUCCIÓN VEGETAL DE LA UPCT.

CERTIFICA,

Que el Trabajo Fin de Máster, titulado: **“Estudio comparativo de las relaciones hídricas y producciones en uva de mesa bajo riego deficitario (RD) y desecación parcial de raíces (PRD). Efecto del déficit continuo y controlado”**, presentado por la alumna **Dña. M^a Cristina Martínez Barba**, ha sido realizado bajo mi dirección y supervisión para optar al título “Máster Universitario en Técnicas Avanzadas en Investigación y Desarrollo Agrario y Alimentario”, y que se autoriza al alumno a la defensa del mismo.

Y para que así conste, firmo el presente trabajo en Cartagena a veintiuno de septiembre de dos mil quince.

Fdo.: Alejandro Pérez Pastor

ÍNDICE GENERAL

1. TÍTULO.....	6
2. PALABRAS CLAVE.....	6
3. RESUMEN	6
4. ABSTRACT	7
5. INTRODUCCIÓN.....	8
5.1. La vid. Origen y clasificación botánica	8
5.2. Ciclo de crecimiento de la vid.....	11
5.2.1. Ciclo vegetativo	12
5.2.2. Ciclo reproductivo	14
5.3. Control de la coloración de las bayas en la variedad “ <i>Crimson Seedles</i> ” ...	16
5.4. Situación actual de la producción regional, nacional y europea	17
5.4.1. Situación actual de la producción regional	17
5.4.2. Situación actual de la producción nacional.....	19
5.4.3. Situación actual de la producción europea.....	21
5.5. Estrategias de riego deficitario para optimizar el uso del agua.....	22
5.5.1. Riego deficitario controlado (RDC).....	22
5.5.2. Desección parcial del sistema radicular (DPR).	25
5.5.3. Comparativa entre RCD y DPR.....	26
5.5.4. Investigaciones en “ <i>Crimson Seedless</i> ”	27
6. JUSTIFICACIÓN Y OBJETIVOS.....	29
7. MATERIAL Y MÉTODOS.....	30
7.1. Características de la parcela experimental.....	30
7.2. Análisis de suelo y agua.....	31
7.3. Climatología.....	32
7.4. Labores culturales y fertilización.....	32
7.5. Tratamientos de riego.....	33
7.6.- Parámetros estudiados	34
7.6.1.- Estado hídrico del suelo.....	34
7.6.2.- Estado hídrico de la planta.....	35
7.6.3- Medidas de crecimiento vegetativo y reproductivo.....	37

7.6.4.- Producción.....	38
7.6.5- Parámetros de calidad.....	39
7.7. Análisis estadístico.....	43
8.- RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	43
8.1.-Climatología, estado hídrico del suelo y agua aplicada.....	43
8.2.- Estado hídrico de la planta y crecimiento reproductivo	45
8.3.- Intercambio gaseoso	49
8.4.-Crecimiento vegetativo.....	51
8.5.-Parámetros de cosecha.....	51
8.6.-Calidad.....	52
8.7.- Eficiencia del uso del agua (EUA)	54
8.8.-Comparativa entre los tratamientos de riego RDC, DPR, RDc y DPRc	55
9.-CONCLUSIONES.....	57
10. BIBLIOGRAFÍA	59

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Variedad “ <i>Crimson Seedles</i> ”.....	10
Figura 2: Ciclo anual de la vid.....	11
Figura 3: Estados fenológicos de la vid definidos por Baggiolini et al., (1952).. ..	13
Figura 4. Vista general de la parcela experimental “in situ” y SigPac.....	31
Figura 5 .- Distribución de emisores en los diferentes tratamientos de riego.	34
Figura 6. Instalación de sondas FDR en la parcela experimental y vista general del equipo Diviner 2000 utilizado.....	34
Figura 7. Distribución de sondas FDR en la parcela experimental en los tratamientos DPR, DPRc (imagen 1) y RDC, RDc (imagen 2).....	35
Figura 8. Cámara de presión utilizada y hoja envuelta para la medición de $\Psi_{t,md}$	36
Figura 9. Medidor portátil utilizado CIRAS-2.	37
Figura 10. Medición diámetro de la baya. Vista general del colorímetro y medidor de firmeza utilizado en el ensayo.....	40
Figura 11. Medidor de pH y CE, refractómetro manual y equipo de valoración de la AT utilizados.	42

Figura 12. Evolución estacional de (A) la evapotranspiración de referencia (ET_o, círculos verdes), temperatura máxima (T, línea azul), déficit de presión de vapor (DPV, círculos rojos) y de la precipitación (Prec, barras azules; y (B) del contenido relativo de agua extraíble (AER) en los tratamientos CTL (●) (adecuadamente regado), RDC (■), DPR derecha (▲) y DPR izquierda (▼) (déficit moderado), RDc (□), DPRc derecha (▲) y DPRc izquierda (▼) (déficit severo). Cada punto corresponde a la media de 4 sondas FDR por tratamiento. La línea vertical discontinua delimita los períodos fenológicos de pre y post-verano. Las barras verticales indican el error estándar medio de los puntos de la figura..... 44

Figura 13. Evolución estacional (A) del diámetro de baya (cada punto corresponde a la media de 60 bayas por tratamiento de riego); y (B) del potencial de tallo al mediodía ($\psi_{t,md}$) (cada punto corresponde a la media de 6 hojas por tratamiento, n=3) en los tratamientos CTL (●) (adecuadamente regado), RDC (■) y DPR (▲), (déficit moderado), RDc (□) y DPRc (▲) (déficit severo). La línea vertical discontinua delimita los períodos fenológicos de pre y post-verano. Las barras verticales indican el error estándar medio de los puntos de cada figura. Letras diferentes indican diferencias significativas entre tratamientos de riego según el test de rango múltiple de Duncan (P<0.05). 47

Figura 14. Valores medios durante pre (columnas negras) y post-verano (columnas blancas) de la fotosíntesis neta (P_n) (A), conductancia estomática máxima (g_s) (B) y de la relación P_n/g_s o eficiencia intrínseca de uso del agua (C) en los tratamientos CTL (adecuadamente regado), RDC y DPR (déficit moderado), RDc, y DPRc (déficit severo). Cada día de medida corresponde a la media de 6 hojas por tratamiento. Cada barra hace mención a la medida de 5 días de medida para cada periodo fenológico. Letras diferentes indican diferencias significativas entre tratamientos de riego según el test de rango múltiple de Duncan (P<0.05) en cada periodo..... 50

Figura 15. Eficiencia de uso del agua (EUA, kg m⁻³) en los tratamientos de riego ensayados: CTL (adecuadamente regado), RDC y DPR (déficit moderado), RDc y DPRc (déficit severo). Letras diferentes indican diferencias significativas entre tratamientos de riego según el test de rango múltiple de Duncan (P<0.05)..... 55

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Clasificación de la vid (Ribereau-Gayon, 1986).....	8
Tabla 2. Superficies destinadas a cultivo de la vid en la región de Murcia entre el año 2008 y el 2014.....	17
Tabla 3.- Producción regional en toneladas de cultivo de vid entre el año 2008 y el 2014.	18
Tabla 4.- Producción regional en toneladas de viñedo de uva de mesa entre los años 2008 y 2014 según variedades	18
Tabla 5: Superficies destinadas a viñedos en el territorio nacional, en hectáreas entre el año 2008 y 2014.....	19
Tabla 6 .Superficies de cultivo (has) en el ámbito nacional entre el año 2008 y el año 2014.	21
Tabla 7. Producción nacional en toneladas entre el año 2009 y el 2013.....	21
Tabla 8. Superficie de cultivos de viñedo en los principales países productores de la UE, (1000 ha).	22
Tabla 9. Comparativa entre riego deficitario controlado (RDC) y desecación parcial de la raíz (DPR) en vid, según McCarthy (2002) FAO.	27
Tabla 10. Determinación y fecha de los principales periodos fenológicos del cultivo.	38
Tabla 11. Fechas de los cortes de producción durante el periodo de cosecha.....	39
Tabla 12. Clasificación utilizada para la cata de color subjetivo	40
Tabla 13. Agua aplicada y porcentaje de reducción de agua respecto al tratamiento CTL.	45
Tabla 14. Valores medios de potencial hídrico de tallo al mediodía ($\psi_{t,md}$) \pm error estándar obtenidos durante pre y post-envero en el año de estudio.	46
Tabla 15. Integral de estrés S_{ψ} acumulada \pm error estándar durante el año 2014 en los periodos de pre y post-envero para los tratamientos CTL (adecuadamente regado), RDC y DPR (déficit moderado) y RDC y DPRc (déficit severo).....	48
Tabla 16. Valores medios de la sección transversal del tronco \pm error estándar durante el año 2014 para los tratamientos CTL (adecuadamente regado), RDC y DPR (déficit moderado) y RDC y DPRc (déficit severo).	51
Tabla 17. Parámetros de cosecha: producción total, nº de racimos por cepa, peso medio de racimos, nº de bayas por racimo y peso medio de las bayas durante el año de estudio	

en los tratamientos CTL (adecuadamente regado), RDC y DPR (déficit moderado) y RDc y DPRc (déficit severo). Valores medios de las 18 cepas por repetición (n=4).52

Tabla 18. Calidad física en la cosecha: diámetro ecuatorial, altura, firmeza, parámetros de color (Hue, °C y L) y color subjetivo de la baya durante el año de estudio en los tratamientos CTL (adecuadamente regado), RDC y DPR (déficit moderado) y RDc y DPRc (déficit severo). Promedio de 100 bayas por repetición (n=4). 53

Tabla 19. Calidad química en la cosecha: peso fresco, sólidos solubles(SST), acidez titulable (AT), índice de madurez (IM), pH y conductividad eléctrica (CE), durante el año de estudio en los tratamientos CTL (adecuadamente regado), RDC y DPR (déficit moderado) y RDc y DPRc (déficit severo). Promedio de 100 bayas por repetición (n=4). 54

Tabla 20. Comparativa entre los diferentes tratamientos. Se ha dado el valor medio 3 al tratamiento control, 4 y 5 significan valores por encima del tratamiento control (mejores características), 5+ está por encima del nivel de 5; 2 y 1 por debajo del tratamiento control (peores características). De peor a mejor valoración, la escala es 1-2-3-4-5-5+..... 56

1. TÍTULO

Estudio comparativo de las relaciones hídricas y producción en uva de mesa bajo riego deficitario (RD) y desecación parcial del sistema radicular (DPR). Efecto del déficit continuo y controlado.

2. PALABRAS CLAVE

Respuesta productiva, periodos críticos, eficiencia de uso del agua, “*Crimson Seedles*”.

3. RESUMEN

Con el objeto de conocer el efecto del déficit hídrico sobre las relaciones hídricas, producción y calidad de la cosecha, así como comparar los diferentes tipos de regímenes de riego utilizados, se realizó un ensayo durante el año 2014, en una parcela comercial de uva de mesa cv. “*Crimson Seedless*”. Para ello, se aplicaron cinco tratamientos de riego: (i) control (CTL) regado al 110% de la evapotranspiración del cultivo (ETc), (ii) riego deficitario controlado (RDC) regado al 50% del CTL durante el periodo no-crítico de post-verano, (iii) riego deficitario continuado (RDc), regado al 50% del CTL durante toda la estación de crecimiento de la baya, (iv) desecación parcial del sistema radicular (DPR), riego similar a RDC, pero alternando el riego en cada una de las dos mitades en las que se puede dividir el sistema radicular (cada 10-14 días), (v) desecación parcial del sistema radicular continuado (DPRc), similar a RDc pero alternando el riego en cada una de las dos mitades en las que se puede dividir el sistema radicular (cada 10-14 días). Las reducciones de agua aplicada con respecto a CTL fueron de un 24% y de un 28% para los tratamientos de RDC y DPR (riego deficitario moderado), respectivamente. Por su parte, estas reducciones fueron de 65% y del 53% para los tratamientos de RDc y DPRc (riego deficitario severo), respectivamente. La producción total y sus componentes no resultaron afectadas por el efecto del déficit hídrico, sólo se observaron valores significativamente menores en el peso y altura de baya. Sin embargo, los parámetros de color evaluados (e.g. Tono) se incrementaron en todos los tratamientos deficitarios, siendo este incremento mayor en los riegos deficitarios severos (RDc y DPRc), respecto a aquellos que tuvieron en cuenta el periodo crítico de pre-verano (en este caso, RDC y DPR, tratamientos deficitarios controlados). Asimismo, los sólidos solubles totales (SST) fueron significativamente

superiores en RDc, respecto al resto de tratamientos de riego. Por todo ello, los tratamientos de riego deficitario severos RDc y DPRc, pueden ser una opción a tratar en este cultivar. De hecho, parece destacar un efecto positivo de RDc frente a DPRc, sin embargo, estos resultados corresponde a un primer año de ensayo, por lo que serán necesarios más años de estudio para poder ratificar esta tendencia.

4. ABSTRACT

In order to know the effect of water stress on water relations, yield and berry quality, and also compare different irrigation regimes, one experiment was conducted in a comercial orchard cv. "*Crimson Seedles*" during the year 2014. Five irrigation treatments were imposed: (i) Control (CTL), irrigated to 110% of crop evapotranspiration (ETc), (ii) regulated deficit irrigation (RDI), irrigated at 50% of CTL during the non- critical period of post-verasion, (iii) continuous deficit irrigation (DIc), irrigated at 50% of CTL throughout the berry growing season, (iv) partial root-zone drying (PRD), irrigated similar to RDI, but alternating the irrigation applied in the dry side every 10-14 days, approximately; and (v) continuous partial root-zone drying (PRDc), irrigated as DIc but alternating the irrigation in the dry side every 10-14 days, aproximately. RDI and PRD received 24% and 28% less water than CTL, respectively (correspond to moderate deficit irrigation). These reductions were of 65% and 53% in DIc and PRDc treatments, respectively (correspond to severe deficit irrigation). Total yield and its components were not affected by water stress. Only significantly lower values were observed in the weight and height's berries. However, the color parameters evaluated (i.e. Tone) increased in all deficit irrigation treatments, being slightly in DIc and PRDc compared to with RDI and PRD (which considered the critical period of pre-veraison). In addition, total soluble solids (TSS) were significantly higher in DIc, compared to other irrigated counterparts. Our findings showed that severe deficit irrigation submitted through the application of continuous deficit in DIc and PRDc, can be an option to consider in this cultivar. In fact, it seems to have a positive effect in DIc respect to PRDc. However, these results correspond to a first year of experiment, so that, more years of study are needed to confirm this trend.

5. INTRODUCCIÓN

5.1. La vid. Origen y clasificación botánica

Origen

Restos de pepitas y de polen son los que nos permiten afirmar que el género *Vitis* estaba extendido por todo el Hemisferio Norte al final de la Era Terciaria. En este período los principales grupos de *Vitis* se dividían en dos ramas: las rugosas o estriadas (*V.ludwigii*) y las de piel lisa (*V.teutonica*), las cuales son las antecesoras de las actuales *Muscadinia* y *Euvitis* respectivamente.

La vid europea se refugió durante la glaciación en la zona del Cáucaso y desde ahí se extendió a Europa a través del Mediterráneo hasta el Atlántico, llegando a Escocia y Escandinavia. La última glaciación, menos severa que las anteriores, no la eliminó del sur de Europa y todavía hoy aparecen descendientes en determinadas zonas. Fue antes y durante la Edad de piedra, cuando la vid cultivada, *Vitis vinifera* colonizó toda Europa desde el este, y se sabe que en el Neolítico se hacían grandes recolecciones, como testimonia los restos de pepitas encontrados en sus viviendas en los yacimientos arqueológicos. Los antiguos griegos cultivaban la vid y más tarde los romanos continuaron con esta práctica y la extendieron por sus colonias.

Clasificación botánica

La denominación con la que se conoce a la vid es *Vitis vinifera* L. y se clasifica según la tabla 1.

Las especies que pertenecen a la familia Vitaceae, como la vid, son arbustos trepadores con tallo leñoso cuyas hojas son alternas y generalmente estipuladas y con zarcillos opuestos a éstas. Las ramas en estado herbáceo se denominan pámpanos y cuando se lignifican se denominan sarmientos y son las que producen los brotes fructíferos. Las flores son pequeñas y hermafroditas. Su inflorescencia es en racimo compuesto y el fruto en baya con la semilla de testa dura y gruesa.

Tabla 1: Clasificación de la vid (Ribereau-Gayon, 1986).

Agrupación Cormofitas	Plantas con raíz, tallo y hojas, autótrofas con clorofila y reproducción constante sexual además de la vegetativa.
Tipos Fanerógamas o Espermafitas	Plantas con flores y semillas.
Subtipo Angiospermas	Plantas con semillas encerradas en un ovario.
Clase Dicotiledóneas	Con dos hojas embrionadas en la base de la plántula.
Orden Rhamnales	Plantas leñosas de un solo ciclo de estambres situados delante de los pétalos.
Familia Vitáceas	Flores con corola de pétalos soldados superiormente y de prefloración valvar, con cáliz poco desarrollado, gineceo generalmente bicarpelar y bilocular, con fruto en baya.
Género Vitis	Con flores exclusivamente dioicas en las especies silvestres, y hermafroditas o unisexuales en las cultivadas.

Dentro del género *Vitis*, podemos distinguir dos subgéneros:

Subgénero *Muscadinia*: comprende tres especies: *Vitis rotundifolia* Midex, *Vitis munsoniana* y *Vitis popenoi*. Este subgénero posee corteza no exfoliable, sarmientos con lenticelas, fibras liberianas dispuestas irregularmente, zarcillos simples y nudos sin diafragma. La especie más interesante y cultivada es *V. rotundifolia*, cuyo origen está en el sur de Estados Unidos y Méjico. Se utiliza para la mejora del cultivo de la vid, ya que es resistente a muchas plagas y enfermedades, como la filoxera provocada por *Dactylosphaera vitifoliae*.

Subgénero *Euvitis*: comprende más de sesenta especies. Es originario del Hemisferio Norte casi en su totalidad, y a él pertenecen las especies cultivadas. Este subgénero posee corteza exfoliable, zarcillos bifurcados y nudos con diafragma. (Winkler et al, 1974). Pérez-Camacho (1992), clasifica estas especies en once grupos según sus caracteres morfológicos como los tipos de hojas y velloidad.

Vitis vinifera L. es la vid europea y es la especie cultivable por excelencia, y más del 90% de la uva producida pertenece a variedades de esta especie, ya que posee grandes

cualidades como son: bayas succulentas, grandes y con aptitudes viníferas. Es sensible al frío, a filoxera y a enfermedades criptogámicas, pero resistente a clorosis.

Variedad “*Crimson Seedless*”: es la variedad objeto de estudio (Fig.1). Se trata de una variedad tardía de uva de mesa roja desarrollada por David Ramming y Ron Tarailo de la USDA-ARS en Fresno, California en 1989. También conocida como selección C102-26. Como su nombre indica “seedless”, corresponde a una variedad apirena, sin semillas. Para su obtención se necesitaron cinco generaciones de hibridación, en las que intervino inicialmente *Sultanina*, y finalmente el cruce de *Emperador* x *C33-199*.

Esta variedad tiene buena productividad, es vigorosa, por lo que hay que manejarla para evitar el exceso de carga. Por ello, necesita marcos de plantación anchos. Produce bayas de tamaño medio (de 16-19 mm de diámetro), compactas, cónicas, de color rosado a rojo violáceo, con dos esbozos seminales prácticamente indetectables al comer y con gran cantidad de racimos poco compactos. La piel es de mediano grosor, la carne es transparente, firme y crujiente. El sabor de las bayas es dulce y neutral. Tiene gran aceptación en el mercado, por sus excelentes características alimenticias y por su disponibilidad a final de la temporada, ya que madura a lo largo del mes de Agosto, en función de zonas, patrones y técnicas de cultivo. Además de ser resistente a enfermedades y tener una buena aptitud en post-cosecha, también tiene buen comportamiento en su conservación frigorífica y resistencia al transporte.

Por todo ello, se considera una variedad bastante interesante para su cultivo.



Figura 1: Variedad “*Crimson Seedles*”.

Patrón Paulsen 1103: es originario de Sicilia. Se obtuvo de una hibridación entre *Berlandieri Reseguiré x Rupestres de Lot*. Podemos destacar entre sus características más importantes su gran vigor y su buen enraizamiento después del trasplante. Por ello, en la mayoría de los casos se injerta el mismo año de su plantación.

Gracias a su resistencia a la salinidad, sequía y nemátodos es un patrón que funciona con grandes resultados en zonas semiáridas. También ha dado buenos resultados en terrenos poco fértiles y en suelos arcillosos compactos, aunque es más recomendable para suelos de compacidad media con subsuelo fresco o húmedo. Tolera hasta un 23% de caliza activa y un 30% de caliza total. Su IPC es 30 y su resistencia a la clorosis férrica se evalúa como media. Absorbe bien el magnesio y es interesante también por su resistencia a la clorosis férrica y por su tolerancia a los cloruros. Pero sobretodo se usa por su notable resistencia a la salinidad, pues tolera entre 1.57 – 1,89 mmho/cm

5.2. Ciclo de crecimiento de la vid

La vid es una planta perenne de ciclo anual, realizándose dentro del año, el ciclo vegetativo y reproductivo de forma conjunta.

Antes de producirse el crecimiento vegetativo, tiene lugar el desborre. Y previo al desborre suceden los lloros. El crecimiento vegetativo se extiende desde los meses Marzo-Abril hasta la parada de crecimiento que se produce en los meses de Julio-Agosto (Fig.2). La vida de una vid puede oscilar entre 30 y 50 años y entra en producción a partir del tercer o cuarto año después de la plantación.

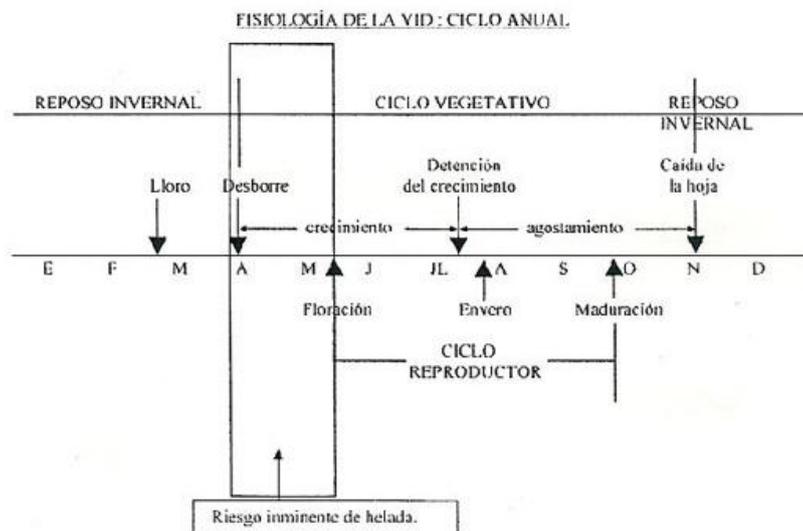


Figura 2: Ciclo anual de la vid.

5.2.1. Ciclo vegetativo

Previo al comienzo del crecimiento vegetativo, suceden dos procesos conocidos como “lloro” y “desborre”.

-Lloro de la vid: durante el proceso de reactivación primaveral de la vid parte de la savia que comienza a fluir por la reanudación de la actividad radical, se pierde a través de las heridas de poda, proceso conocido como “lloro”. Esta savia bruta es muy pobre en materias nutritivas (Marcilla, 1954), suele contener cationes, nitrógeno, sales, azúcares y aminoácidos y apenas tiene efectos perjudiciales sobre la cepa.

-Desborre: el desborre es el primer síntoma visible del crecimiento y nos indica el comienzo del desarrollo celular del sistema vegetativo de la cepa. Consiste en el hinchamiento de la yema formando una “borra” y a partir de ésta comienza a producirse la salida de las hojas y apertura de brácteas. La causa es el aumento de la temperatura por encima de 10°C y al mismo tiempo comienza la absorción por parte del sistema radical. La brotación de las yemas no es homogénea, las últimas yemas de las varas son las primeras en brotar. Al principio el crecimiento es lento y conforme las temperaturas van aumentando, el crecimiento se acelera. Por estimación, se sabe que el alargamiento de sarmientos cuando las variedades son vigorosas, en dicho periodo es de 6 a 8 cm. y hasta 10 cm. por día (Marcilla, 1954).

Se identifica el momento de desborre mediante una serie de estados fenológicos (Fig.3).

Estados fenológicos de la vid (según M. Baggiolini)

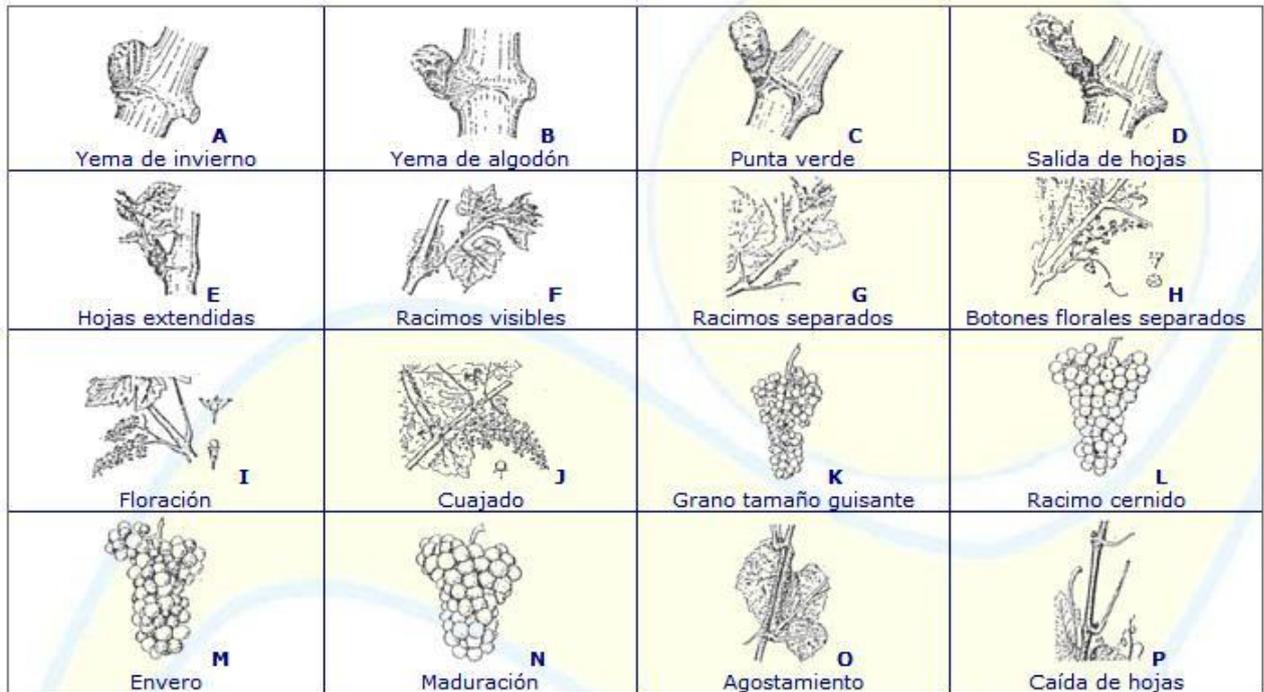


Figura 3: Estados fenológicos de la vid definidos por Baggiolini et al., (1952).

-Crecimiento: después del desborre, la cepa comienza a crecer y se produce el crecimiento de todos los órganos; raíces, pámpanos y durante este proceso se distinguen dos tiempos. En el primero, este crecimiento se debe a la cantidad de reservas movilizadas y durante el segundo, son los órganos verdes como las hojas desarrolladas, los que van transformando la savia bruta en savia elaborada que precisa este desarrollo. Cuando el crecimiento de los brotes es más lento, de nuevo comienzan los hidratos de carbono, producidos por las hojas y no utilizados en el crecimiento, a almacenarse en forma de almidón. Este almacenamiento resulta lento al principio, mientras las bayas van incrementando rápidamente de tamaño a la vez que existen muchos brotes en crecimiento. Luego va aumentando hasta que a mediados o finales de otoño el nivel de reservas es equiparable al nivel existente del año anterior. Esta acumulación de las reservas puede verse afectada por la cantidad de cosecha, la época de maduración de los frutos, el estado sanitario de la cepa, la cantidad de hojas expuestas a la luz y las condiciones climáticas (Winkler et al., 1974).

-Agostamiento: consiste en la acumulación de sustancias de reserva (principalmente almidón) del pámpano y en la modificación estructural del mismo para convertirse en sarmiento perdiendo la clorofila y adquiriendo consistencia para asegurar las reservas que

le servirán a la planta al año siguiente para llevar a cabo el crecimiento inicial. Al final se produce la caída de las hojas.

5.2.2. Ciclo reproductivo

El ciclo reproductor comprende varias fases: la iniciación floral, la floración, el cuajado y el desarrollo del fruto.

-Iniciación floral: hay dos fases en la iniciación floral:

1. *Inducción floral:* en la inducción floral una parte del meristemo apical se transforma en meristemo reproductor.
2. *Diferenciación de la inflorescencia:* en la porción anterior que pasa al estado reproductor se van diferenciando progresivamente los ejes de la inflorescencia y posteriormente comienzan a diferenciarse las flores hasta alcanzar su forma definitiva.

-Floración: en el momento del estado F definido por Baggiolini et al. (1952) las inflorescencias son visibles sobre el pámpano y se puede evaluar su número y dimensiones y la primera esperanza de cosecha: es la “salida” o “muestra”. Las inflorescencias llegan al estado G o de las inflorescencias separadas, las inflorescencias se separan entre sí y del ápice, pero los órganos florales permanecen todavía aglomerados. Un poco más tarde se inicia el estado H o de botones florales separados. Aparece la típica forma de la inflorescencia con los botones florales aislados. Por fin el estado I es el momento de floración, momento en el cual tiene lugar la apertura de las flores.

En este preciso momento la corola comienza a separarse por su base, los pétalos quedan soldados entre ellos por su parte superior formando un capuchón que, al caer deja libres a los estambres que rodean el gineceo o parte femenina de la flor. El número de días durante los cuales las vides están en floración depende del clima. Puede tomarse una media de 8 o 10 días cuando las condiciones son favorables. Las flores de la base del racimo florecen primero. Las flores de un racimo pueden abrirse en el curso de uno o dos días.

-Cuajado: el cuajado es la transformación de la flor en fruto cuando todo el proceso de floración descrito se lleva a cabo de forma adecuada. El número de bayas que contiene un racimo siempre es mucho menor que el número de flores que tenía en floración. Se define el índice o tasa de cuajado como el cociente entre el número de bayas y el número de

flores en porcentaje. Dicho índice es muy variable en función de la variedad, el año, etc. Frecuentemente, se observa que el índice de cuajado es menor cuanto mayor es el número de flores de la inflorescencia. Esto indica la capacidad de autorregulación de la planta actuando sobre el número definitivo de bayas que tiene que alimentar.

Con independencia de que todo el proceso de floración y cuajado se efectúe de forma adecuada algunos días después del cuajado, con las bayas muy pequeñas comenzando a desarrollarse, puede producirse una caída brutal de bayas no quedando más que algunas por racimo, dicho proceso recibe el nombre de **corrimiento**. Esta caída se produce mediante la formación de una capa de abscisión a nivel del pedúnculo o cabillo.

-Desarrollo de las bayas: hay tres períodos característicos en el desarrollo de las bayas.

1. Período de crecimiento herbáceo: auxinas y giberelinas parecen ser los dos tipos de sustancia de crecimiento mediante las cuales ejerce el polen su efecto estimulador sobre el crecimiento del ovario. Después de la polinización, el control del desarrollo del fruto es asumido por las semillas o pepitas también en desarrollo.

Al principio, el crecimiento del grano es muy rápido, después sufre una detención que corresponde a la formación de la semilla. La pepita alcanza su constitución definitiva y adquiere un color amarillo claro que se transforma más tarde en caoba. La semilla ya puede germinar pues ha alcanzado su madurez fisiológica. Alcanzado ese estado de desarrollo, el grano presenta la forma de la baya madura y se distingue. La baya en este momento al tener clorofila y por ello ser verde realiza el mismo papel que una hoja y realiza la fotosíntesis. El análisis químico demuestra que es muy pobre en azúcares y rica en ácidos orgánicos. Llega un momento en el que la baya comienza a ponerse translúcida en variedades blancas o se colorea en variedades tintas. Este cambio de color recibe el nombre de “**envero**”. Al mismo tiempo, la baya adquiere una consistencia elástica, desaparecen cloroplastos, las paredes celulares se rompen estableciéndose una continuidad entre célula y célula de manera que no subsiste más que el color de la piel para mantener el jugo de la baya. Al final del período de crecimiento herbáceo se ralentiza el crecimiento y coincide con el **envero**.

2. Período de maduración: comienza en el **envero** y continúa hasta la madurez. La pulpa comprende agua y sustancias disueltas, azúcares, ácidos, materias minerales y nitrogenadas, polifenoles, materias pépticas, sustancias olorosas, vitaminas y

enzimas cuyas proporciones varían a lo largo del período de maduración. Durante el período de maduración el aporte de agua a la baya que condiciona el aumento de tamaño y la acumulación de azúcares. Existen experiencias que demuestran que para que haya acumulación de azúcares en la baya es imprescindible que ésta aumente de volumen.

3. *Periodo de sobremaduración:* la sobremaduración es un período en el que se obtiene un enriquecimiento relativo de azúcares en las bayas. Hay una fase de simple concentración de azúcares y desaparición parcial de ácido málico y una segunda fase donde las pérdidas de agua son importantes y la baya se arruga. Además suele ocurrir una disminución sensible de los antocianos (materia colorante) probablemente debido a su combustión respiratoria.

Por último, conforme disminuyen las temperaturas, la vida va interrumpiendo su actividad vegetativa. A este proceso se le conoce como “dormición” o **reposo invernal**.

5.3. Control de la coloración de las bayas en la variedad “*Crimson Seedless*”

Debido a que el color en la baya es una característica de calidad comercial, es común la práctica del control de la coloración a través del uso del ácido abscísico (ABA), ya que el cambio de color en el momento del envero no se produce por sí mismo, o al menos, no satisfaciendo la necesidad cualitativa para el mercado.

Hay estudios que alcanzan la conclusión de que la aplicación de ABA obtenido de síntesis para uso comercial mejora en gran medida la uniformidad en el color de los racimos de uva en variedades tintas, como es el caso de “*Crimson Seedless*” (Ferrara et al., 2013, Cantín et al, 2007). El déficit hídrico controlado puede favorecer la acumulación de antocianinas. A su vez, esto se relaciona con la inducción temprana de mayor expresión de enzimas de biosíntesis de estas sustancias. Muchos estudios confirman que la presencia de ABA, consustancial a las situaciones de estrés hídrico, tiene un rol destacado en la producción de antocianinas por parte de la planta si ésta ha llegado al punto de desarrollo exigido. Por otro lado, la presencia de ABA no modifica ninguno de los parámetros que definen la calidad de la uva, excepto el del ya mencionado color. El cambio de color está afectado principalmente por el aumento del tamaño de la baya, por lo cual, va asociado a todas las prácticas culturales que regulan la carga, al uso de reguladores del crecimiento como el ABA, a la sanidad del material vegetal, a la nutrición y al riego.

5.4. Situación actual de la producción regional, nacional y mundial

5.4.1. Situación actual de la producción regional

Los datos han sido obtenidos de la Consejería de Agricultura y Agua de la Región de Murcia (www.carm.es), y se observa una progresión decreciente de las superficies y producciones destinadas a cultivo de la vid hasta el año 2013 y un ligero aumento en superficies y producciones en el año 2014 (Tabla 2). En los últimos 5 años se ha disminuido el uso de superficies en la Región de Murcia para cultivo de la vid un 12%, habiendo un aumento del 1% en el último año. Se aprecia además en la propia comparación, que aun siendo el viñedo de uva de vino el que tiene más hectáreas en uso, ha sufrido una progresión decreciente en los últimos 5 años de un 15 %, en cambio la uva de mesa ha aumentado las superficies de cultivo un 10% en los últimos 5 años y hay una variación importante del año 2013 al 2014 de un 13%. Por lo tanto, la uva de mesa ha remontado casi las superficies de cultivo del año 2008, observándose una tendencia al alza. En cambio, los viñedos destinados a uva de vino siguen una tendencia a disminuir sus superficies de cultivos, aunque del año 2012 al año 2014 esa variación ya es menor.

Tabla 2. Superficies destinadas a cultivo de la vid en la región de Murcia entre el año 2008 y el 2014.

CULTIVO	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	Var. % Año anterior	Var. % Media 5 años ant.
Viñedo de uva de mesa	5.927	5.470	5.159	5.457	5.493	5.192	5.871	13%	10%
Viñedo de uva de vino	38.912	35.437	31.847	29.791	26.709	25.724	25.268	-2%	-15%
Total	45.839	40.907	37.006	35.248	32.202	30.916	31.139	1%	-12%

Fuente: C.A.R.M.

En la tabla siguiente de producciones (tabla 3), se aprecia que la producción en uva de mesa no ha ido en consonancia con la disminución de uso de superficies de cultivo en los años 2012 y 2013, habiendo un aumento de las producciones en dichos años, aunque la superficie se mantuvo en 2012 y disminuyó en 2013. Según los datos, en el año 2014 hubo un aumento de superficies, pero en cambio una disminución de producciones del 10%, haciendo suponer que está habiendo una transformación de parcelas o implantación

de nuevas que todavía no han obtenido las producciones que les corresponden. En cuanto a las producciones de viñedo de uva de vino, éstas han tenido una disminución bastante significativa del año 2013 al 2014 del 43%.

Tabla 3.- Producción regional en toneladas de cultivo de vid entre el año 2008 y el 2014.

CULTIVO	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	Var. % Año anterior	Var. % Media 5 años ant.
Viñedo de uva de mesa	143.832	120.624	116.743	108.769	125.910	146.326	131.622	-10%	6%
Viñedo de uva de vino	96.519	95.836	98.533	94.773	90.773	98.111	56.192	-43%	-41%
Total	240.351	216.460	215.276	203.716	216.683	244.437	187.814	-23%	-14%

Fuente: C.A.R.M.

En cuanto a la producción de uva de mesa, encontramos que las principales variedades con semilla en Murcia son: Italia, Napoleón, Dominga y sobre todo las apirenas (Tabla 4). En la variación porcentual del año 2014 con respecto al 2013 se aprecia que la variedad Dominga tuvo una disminución importante del 46%, seguida de la variedad Italia y Napoleón.

Tabla 4.- Producción regional en toneladas de viñedo de uva de mesa entre los años 2008 y 2014 según variedades

Viñedo de uva de mesa	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	Var. % A anterior	Var. % M 5 años ant
Italia	4.184	4.000	3.059	2.000	2.208	1.800	1.145	-36%	-56%
Napoleón	39.569	31.000	19.944	13.569	12.490	12.313	9.761	-21%	-45%
Dominga	17.192	16.800	14.987	15.500	15.017	14.667	7.872	-46%	-49%
Otras (incluye apirenas)	82.887	68.824	78.753	77.700	96.195	117.546	112.844	-4%	29%
Total	143.832	120.624	116.743	108.769	125.910	146.326	131.622	-10%	6%

Fuente: C.A.R.M.

Se observa también una ligera disminución en el último año de otras variedades, en las cuales están incluidas las apirenas. Si observamos la tendencia de los cinco últimos

años, podemos decir que ha habido una bajada en la producción en torno al 50% para las variedades Italia, Napoleón y Dominga; en cambio las variedades apirenas aumentan su producción en un 29%.

5.4.2. Situación actual de la producción nacional

En cuanto a superficies dedicadas a cultivo de uva en España, los datos nos confirman que ha habido unas continuas fluctuaciones bastantes irregulares de un año a otro aunque también podemos decir que ha habido un descenso generalizado desde el año 2008 hasta el año 2012, mientras que desde 2012 hasta 2014 se observa un ligero aumento.

La comunidad con mayor extensión dedicada a este cultivo es Castilla la Mancha con 463.912 has, siendo un 48,14% del viñedo plantado en España. Le sigue Extremadura (83.055 has), Valencia (71.228 has), Castilla-León (63.732 has), Cataluña (54.621 has), La Rioja (51.223 has), Aragón (37.237 has), Región de Murcia (30.426 has) y Andalucía (30.426 has).

La Región de Murcia tiene un 3,1% de la superficie total dedicada al cultivo de la vid en España.

Según la “Encuesta sobre Superficies y Rendimientos de Cultivos ESYRCE” del MAGRAMA, los datos nos confirman que ha habido un descenso generalizado en cuanto a uso de superficies prácticamente en todas las comunidades autónomas desde el año 2008 hasta el 2012. Las mayores caídas corresponden a Cantabria (-64,10%), Murcia (-33,90%) y Andalucía (-31,41%). En cambio, entre el año 2012 y el 2014, se han producido ligeros incrementos de superficies en Andalucía (8,52%), Comunidad Valenciana (4,14%), La Rioja (5,89%) y Región de Murcia (15,90%). Además, se observa que la Región de Murcia es la que ha aumentado en mayor proporción su superficie en estos dos últimos años.

Tabla 5: Superficies destinadas a viñedos en el territorio nacional, en hectáreas entre el año 2008 y 2014.

Comunidad Autónoma	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014
Andalucía	31.476	30.071	28.860	27.178	25.159	28.258	27.305
Aragón	46.880	43.671	40.906	38.386	37.425	37.481	37.237
Islas Baleares	3.093	2.866	2.901	2.885	2.850	2.853	2.870
Comunidad Valenciana	75.903	76.150	73.403	67.491	68.392	74.132	71.228
Canarias	8.709	8.488	8.415	8.116	8.380	8.239	8.533
Cantabria	15	19	19	14	14	14	14
Castilla la Mancha	580.080	542.944	506.228	473.050	465.358	463.639	463.912
Castilla- León	68.313	67.595	66.849	65.837	64.364	63.468	63.732
Cataluña	61.117	59.129	56.221	55.114	54.429	53.591	54.621
Extremadura	88.178	87.078	86.034	84.148	82.331	84.096	83.055
La Rioja	49.672	49.165	47.056	47.866	48.372	49.072	51.223
Galicia	26.102	26.647	26.287	26.532	26.233	26.092	26.022
Comunidad de Madrid	12.952	12.587	12.520	12.041	11.423	10.817	10.765
Región de Murcia	37.812	34.642	30.660	27.940	26.250	30.296	30.426
Comunidad Foral de Navarra	27.445	23.567	22.400	20.376	19.661	19.639	19.204
Principado de Asturias	4	4	12	12	6	1	1
País Vasco	12.199	12.912	13.340	13.478	13.373	13.407	13.497
TOTAL	1.129.951	1.077.535	1.022.111	970.465	954.020	965.095	963.645

Fuente: encuesta ESYRCE, sobre superficies y rendimientos de cultivos. www.magrama.gob.es

En lo que se refiere a uva de mesa, se refleja una caída en uso de superficies correspondiente a un 29,33%; en cambio en uva de transformación ha habido una caída en superficies de producción del 16,09% (Tabla 6).

Tabla 6 .Superficies de cultivo (has) en el ámbito nacional entre el año 2008 y el año 2014.

Cultivo	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014
Uva de mesa	18.541	17.239	15.245	12.920	13.035	13.402	13.103
Uva de transformación	1.129.951	1.077.535	1.022.111	972.085	954.020	951.693	950.541
Total	1.148.492	1.094.774	1.037.356	985.005	967.055	965.094	963.644

Fuente: www.magrama.gob.es

En cuanto a producciones, en uva de mesa la producción ha bajado un 13,11%, sin embargo en uva de vinificación el porcentaje de diferencia ha sido de -5,40%, con lo cual, visualmente podemos decir que no ha habido pérdidas de producción de uva de transformación, sino un ligero aumento de las mismas (Tabla 7).

Tabla 7. Producción nacional en toneladas entre el año 2009 y el 2013.

Cultivo	2009	2010	2011	2012	2013
Uva de mesa	278.240	237.506	243.435	241.209	241.768
Uva de vinificación	5.672.472	5.867.038	5.565.372	5.087.998	5.978.492
Total	5.950.712	6.104.544	5.808.807	5.329.207	6.220.260

Fuente: www.magrama.gob.es

5.4.3. Situación actual de la producción europea

En la tabla 8, se pueden observar los datos de superficie de cultivos de los países más productores en la Unión Europea. Como se observa, el principal productor es España, seguido de Francia e Italia. Estos tres países tienen la gran parte de superficie de cultivo de viñedo de la U.E., estando bastante alejados de los demás. Se observa también superficies importantes en Turquía, Portugal y Rumanía.

En general, hay una ligera tendencia a disminuir las superficies de cultivo en todos los países a lo largo de estos últimos siete años, aunque en ciertos países (España, Francia, Portugal) esa tendencia se ha estabilizado, o incluso ha aumentado ligeramente en los años 2013 y 2014.

Tabla 8. Superficie de cultivos de viñedo en los principales países productores de la UE, (1000 ha).

País	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014
Bulgaria	110,8	101,4	49,4	46,1	60,4	50,2	31,9
Alemania	99,7	100,1	99,9	99,7	99,5	99,5	100,1
Grecia	86,8	-	99,3	103,2	99,2	110,7	-
España	-	-	1.002,1	963,1	943	945,7	946,9
Francia	-	-	787,1	764,2	760,9	760,6	759,2
Italia	788,1	801,9	777,5	717,6	697,7	702,1	690,2
Hungría	82,6	82,5	73,9	73,9	75,5	72,3	69,3
Austria	45,6	45,6	43,7	43,8	43,6	43,6	44,8
Portugal	187,8	181,2	180,1	179,5	179,5	179,5	179,5
Rumania	181,4	182,3	174,6	174,9	176,5	176,9	175,1
Turkía	483	-	-	473	462	469	467

Fuente: Eurostat. Unión Europea. www.ec.europa.eu

5.5. Estrategias de riego deficitario para optimizar el uso del agua

5.5.1. Riego deficitario controlado (RDC)

La escasez de recursos hídricos existente en gran parte de la superficie terrestre, sobre todo en las zonas áridas y semiáridas, convierte al agua de riego en uno de los principales factores limitantes en la producción de alimento a nivel mundial. En España, es de destacar el sureste, por no tener la disponibilidad total del agua que los cultivos demandan. Por este motivo se está incrementando la investigación en sistemas de riego deficitario, tecnologías y estrategias para incrementar la productividad del agua de riego.

Mediante las estrategias de Riego Deficitario Controlado (RDC), los cultivos se riegan por debajo de sus necesidades hídricas en periodos fenológicos en los que el déficit no afecta a la producción ni a la calidad de la cosecha (Chalmers et al, 1989; Goldhamer et

al, 1989; Naor et al, 2006). Por tanto, para la elaboración de estrategias de RDC, debe considerarse aquellos factores que puedan condicionar de forma importante el crecimiento del cultivo: conocimiento de los períodos críticos del cultivo, el nivel de coincidencia entre el crecimiento vegetativo y el del fruto, las características del suelo, el sistema de riego, el clima, el material vegetal, los mecanismos de resistencia a la sequía, etc. (Torrecillas et al., 1996).

Los principales objetivos del RDC son:

- Aumentar el aprovechamiento eficiente del agua.
- Conseguir además una correcta calidad comercial del fruto.

La aplicación de la técnica del RDC se basa en la idea de reducir e incluso suprimir, el aporte de riego cuando la lluvia proporcione una determinada humedad en el suelo, durante los estados fenológicos (periodos no críticos) en los que un déficit controlado no afecta a la producción ni a la calidad de la cosecha, cubriendo entonces la demanda hídrica de la planta durante el resto del ciclo del cultivo. Se aplica, sobre todo, en los estados de ciclo de cultivo en los que el crecimiento reproductivo está ralentizado y el crecimiento vegetativo y otros procesos de la planta pueden ser afectados, traduciéndose frecuentemente dichos efectos en una mejora de la calidad del fruto (Ruiz-Sánchez et al., 2010). Hay muchos estudios que muestran que el estrés hídrico en vides promueve cambios en el crecimiento vegetativo, rendimiento y calidad de la uva. En este sentido, el efecto del estrés hídrico en cultivares de la uva depende sobre todo, del momento del ciclo de crecimiento en el que se aplica y de la intensidad y la duración del estrés (Blanco et al., 2010).

Chalmers et al. (1993), recomiendan suelos poco profundos, con baja capacidad de retención de agua, ya que pequeños volúmenes húmedos de suelo, restituyen sistemas radiculares más concentrados, lo que facilita el agotamiento del agua así como la recarga del perfil. Se deduce de lo anterior la necesidad de usar sistemas de riego localizado. Otro aspecto muy importante para la aplicación del RDC, es la capacidad de los árboles para adaptarse a situaciones de estrés hídrico (Syversten et al. 1985). La exploración en profundidad en busca de agua podría ser uno de los primeros mecanismos de adaptación a condiciones de estrés hídrico. Por otro lado, el ajuste osmótico es un mecanismo adaptativo que ocurre en manzanos, almendro, pistacho, perales y cítricos, lo cual permite mantener la turgencia de la célula a bajos potenciales hídricos (Goode y Higgs, 1973; Castel y Fereres, 1982).

Los cítricos muestran una notable capacidad de adaptación al déficit hídrico y de hecho sus coeficientes de cultivo son menores a los exhibidos por otros frutales. La bibliografía existente sobre riego deficitario de alta frecuencia presenta resultados diversos. Por ejemplo, Castel y Buj. (1990) con aportes del 80 y 60% de las necesidades de riego en naranjo no detectaron efecto sobre el número de frutos por árbol aunque la producción disminuyó de un 5 a un 15%, aumentando la acidez y los sólidos solubles totales.

Experiencias de RDC en vid

Cuando se somete a la vid al estrés hídrico, se produce una gran disminución del área foliar y del crecimiento del brote. De forma que, a medida que avanza el ciclo del cultivo aumenta la sensibilidad de crecimiento al déficit hídrico (Schultz y Mathews, 1988; Poni et al., 1993). El número de racimos por planta, el número de bayas por racimo y el peso de bayas son los componentes del rendimiento final de la vid, y en general las opiniones coinciden en que éste se reduce a medida que disminuye el contenido de agua del suelo (Mathews y Anderson, 1988). Ferreyra et al (1998) encontraron que con déficits antes de envero, el diámetro de bayas es menor a las que se producen con déficits después de envero y con régimen de riego continuo, produciendo, además, marchitamiento y retraso de la maduración. Deducciones similares realizaron Mathews y Anderson (1988), quienes concluyeron que, probablemente, la falta de agua antes del envero inhibe la división celular, principal responsable del crecimiento de las bayas en sus primeras etapas de desarrollo. Estos autores también afirmaron que se obtienen mayores rendimientos con déficit después de envero en relación al déficit antes de dicho período y que el rendimiento está relacionado con el número de bayas por racimo, pero no con el peso de las bayas. Lo mismo afirmaron Ferreyra et al. (2001) cuyos estudios demostraron que déficits hídricos anteriores a envero podrían afectar significativamente el calibre de la baya. Además, Mathews y Anderson (1988) observaron que el número de bayas por racimo estaría determinado por el contenido de agua en la vid durante el período anterior a envero, resultados que coinciden con Puyo (1992).

Faci et al (2014) concluyeron que una regulación moderada del déficit del riego en post-envero inducía buenas cosechas de alta calidad de uva en las variedades “*Autumn Royal*” y “*Crimson Seedless*”. También observaron mejoría en los parámetros de color, sobre todo en la piel de la variedad *Crimson*.

5.5.2. Desecación parcial del sistema radicular (DPR)

Esta técnica consiste en crear dos zonas de distinta aplicación de riego en la raíz, una de ellas debe estar parcialmente seca y la otra humedecida, de forma que las raíces que se sumergen en el suelo seco sintetizan señales químicas por el estrés que supone la falta de agua en el lado que permanece seco. La planta desencadena una respuesta como si estuviera en un estrés hídrico aunque mantiene un correcto nivel de humedad. Así, se aprovecha la respuesta fisiológica que la planta emite cuando se simula una situación de estrés hídrico siendo sus niveles de humedad normales en la parte aérea. Dicha respuesta química consiste en el aumento de ácido abscísico (ABA) y la disminución de las citoquininas que al ser transportadas por el xilema hacia brotes y hojas, reducen la apertura de los estomas disminuyendo con ello, la transpiración y reduciendo de este modo la pérdida de agua con el fin de incrementar la eficiencia de la transpiración y conseguir así, mayor producción de materia seca por unidad de agua transpirada (Turner, 1990; Dry et al., 2001). De esta manera, se aumenta la eficiencia del uso del agua debido a que la restricción a la transpiración es mayor que el crecimiento. Es conveniente además alternar la zona seca con la zona húmeda en ciclos de 10 a 14 días porque la acumulación de ácido abscísico en la zona seca se produce de forma transitoria.

Concluyendo, la cantidad de agua necesaria para producir una cantidad de asimilados es menor usando la técnica DPR y por esta razón, un cultivo regado bajo DPR tiene menores requerimientos hídricos para aumentar su porte vegetativo que otro cultivo regado de forma normal y por consiguiente la Eficiencia del Uso del Agua (EUA) es el doble, sin que afecte negativamente al tamaño del fruto (Dry et al., 2000; McCarth et al., 2002).

Fue en Australia donde comenzaron a realizarse los primeros ensayos de DPR en 1992 en “CSIRO Plan Industry”, habiéndose obtenido resultados secando una parte de las raíces, ya que se encontró que el ácido abscísico ABA que producía la parte seca reducía la apertura estomática, y en la parte húmeda se mantenían unos niveles hídricos estables para la planta (Loveys et al., 2000; Dry et al., 2000). De esta forma, quedó comprobado, que el ácido abscísico tiene un papel fundamental en la regulación diferenciada del crecimiento de brotes y raíces bajo condiciones de estrés hídrico (Munns y Cramer, 1996). Además del ABA, hay también otros fitorreguladores como por ejemplo, las citoquininas, que tienen relación en la adaptación de las plantas al DPR a corto y largo plazo. A corto plazo tienen

influencia en la apertura estomática y a largo plazo producen las señales que provocan el crecimiento de brotes ya que los meristemas apicales de las raíces son fundamentalmente el lugar donde más se sintetizan y se transportan por el xilema hacia los brotes (Taiz y Zeiger, 2002). Los experimentos han mostrado que el nivel de ABA sube y el de las citoquininas baja en condiciones de DPR (Dry et al., 2000).

Zegbe et al. (2011), evaluaron los efectos del DPR en manzanas en post-cosecha en regiones semiáridas, concluyendo que el tratamiento DPR no dañó la calidad de la fruta en cosecha y después en post-cosecha (almacenaje), habiendo un ahorro importante en agua de riego. Además, observaron un aumento de la concentración de materia seca y de sólidos solubles totales con respecto al tratamiento Control.

5.5.3. Comparativa entre RCD y DPR

García García et al. (2012) hicieron una comparativa con diferentes tratamientos de RDC y DPR en viñas, y realizaron un análisis financiero de la producción. Un moderado déficit de riego, ya sea mediante DPR o RDC, aumentaba la calidad de la cosecha y podían ser viables, aunque disminuía la productividad con respecto al Control. También observaron que déficits de riego severos tanto en RDC como en DPR eran inviables. Concluyeron, que para nuestra zona y climatología, el tratamiento RDC es más viable que DPR, debido al alto coste de la instalación de riego fundamentalmente.

Asimismo, Conesa et al. (2015), estudiaron el impacto del riego deficitario (Control, RDC, DPR, Secano) en la calidad de las bayas de la variedad “*Crimson Seedless*” en la cosecha y durante el almacenamiento en frío. RDC y DPR no vieron afectado su rendimiento productivo, tampoco la calidad física de las bayas resultó significativamente afectada durante su almacenamiento en frío y posterior vida comercial. Sólo se observó un ligero incremento del desgrane de las bayas en el tratamiento DPR, hecho que fue relacionada con la acumulación de la concentración de ABA registrada en este tratamiento. La producción de estos dos tratamientos tuvo mayor aceptación por los consumidores que las del tratamiento Control. En el tratamiento Secano (sin riego aplicado, excepto las lluvias y ciertos riegos de socorro), se produjo una disminución del tamaño de baya, aumentó la deshidratación y se obtuvieron los peores resultados en post-cosecha. Finalmente, concluyeron que es posible disminuir el riego, mediante las estrategias de RDC y DPR, sin afectar negativamente a la producción y calidad física de las bayas, ya que un ahorro de agua medio del 35% no generó consecuencias desfavorables

sobre el rendimiento productivo y calidad de cosecha respecto al tratamiento Control. Pero tratamientos más severos en déficit de agua (como en el caso del tratamiento Secano), se produce una reducción del rendimiento, peso y volumen de las bayas (Conesa et al, 2012).

Romero et al. (2015) comparó en uva de vino cv. Monastrell, las estrategias DPR y RDC. DPR mejoró el rendimiento productivo, número de racimos por cepa y peso medio de bayas. Además DPR aumentó la concentración de antocianos y de aminoácidos en las bayas, y alteró su composición mediante un incremento de los fenoles y de las características cromáticas del vino. Estos resultados, están en consonancia con estudio reciente de Conesa et al. (2016) donde los autores detectaron valores más altos en DPR respecto a RDC de los principales compuestos bioactivos analizados (resveratrol, capacidad antioxidante y antocianos).

McCarthy, (2002), establece una comparativa entre la técnica de RDC y la técnica de DPR para uva de vino, y se puede observar que DPR cuenta con una serie de ventajas con respecto a la técnica del RDC:

Tabla 9. Comparativa entre riego deficitario controlado (RDC) y desecación parcial de la raíz (DPR) en vid, según McCarthy (2002) FAO.

RDC	DPR
Control del tamaño de la baya.	No hay efectos en el tamaño de la baya.
Control del crecimiento vegetativo.	Control del crecimiento vegetativo.
Pérdida potencial de rendimiento.	No hay pérdida de rendimiento.
Efectos positivos sobre la calidad de la uva y del vino.	Posibles mejoras en la calidad de la uva y el vino.
Ahorro de agua despreciable.	Ahorro de agua significativo.
No hay que modificar la instalación de riego	Implica cambios importantes en la instalación de riego.

5.5.4. Investigaciones en “Crimson Seedless”

Las técnicas de riego deficitario controlado (RDC) han tenido éxito en su uso en cultivos leñosos, ya que según las investigaciones, se ha conseguido demostrar que el

crecimiento vegetativo y de igual manera la producción y calidad de la fruta, está influenciado por el déficit hídrico, sobre todo en función de la época en la que se produce el estrés.

En la vid se ha usado el RDC sobre todo en la fase de maduración con el objetivo de perpetuar el rendimiento y mejorar la calidad de la uva. En lo que se refiere a uva de mesa, hay menos estudios de RDC y con parámetros diferentes a los de uva de vinificación, por ello, es necesario el estudio del RDC en uva de mesa para conocer todas sus ventajas y limitaciones. La mayoría de ensayos de RDC en *Crimson* han focalizado el estudio en la fase de maduración de la baya para mejorar el color de la piel, planteando la hipótesis de que un déficit hídrico controlado en la época de maduración puede acelerar la maduración de las bayas y mejorar el color de las mismas.

Blanco et al., 2010, llevaron a cabo un ensayo de riego deficitario con la variedad “Crimson Seedless”, en Zaragoza. En el año 2007, los resultados mostraron que la reducción del riego efectuada en los tratamientos más deficitarios de riego no afectó a la producción y calidad de la uva de la variedad. La producción media fue de 54 t/ha y los parámetros de calidad de la baya fueron satisfactorios en todos los tratamientos sin mostrar diferencias significativas entre tratamientos. Durante la campaña 2008, el tratamiento más deficitario de riego tuvo una menor producción de uva (32 t/ha) que respecto al tratamiento adecuadamente regado (50 t/ha). El riego también produjo diferencias en los parámetros de calidad de la uva *Crimson* en la campaña de 2007. En el mismo estudio, los tratamientos de riego no produjeron efectos significativos en el aumento de color de la piel en las bayas de la variedad *Crimson*. Sin embargo, en otra experiencia en la que se estudiaron tratamientos de atmósfera controlada sobre “Crimson Seedless” en tratamiento con riego deficitario llegaron a la conclusión de que a pesar de tener los cultivos en RDC con actividad respiratoria más acelerada, ésta tiene potencial de comercialización cuando se ha conservado en 43 días a 1°C seguidamente de 5 días más a 15°C aplicando atmósfera controlada con valores de 5% O₂ y 8% CO₂ no siendo afectados los parámetros de calidad como firmeza, pH, sólidos solubles totales, color y AT, ni tampoco sus características organolépticas. La atmósfera controlada mantiene la uva sin incidencia de podredumbres ni pérdida por deshidratación y desgrane de racimos. (Truque et al., 2012)

Como anteriormente se ha citado, Conesa et al (2015 y 2016), concluyeron que es posible disminuir el riego, mediante las estrategias de riego de RDC o DPR, sin afectar negativamente a la producción ni a la calidad físico-química de las bayas, ya que un ahorro

de agua del 35% no supuso una reducción en el rendimiento y la calidad de la cosecha. Además, se observaron efectos positivos de RDC y DPR respecto al tratamiento Control en el color de las bayas, así como en los compuestos bioactivos, tales como; resveratrol o la capacidad antioxidante, que son beneficiosos para la salud. Sin embargo, el tratamiento deficitario más severo o Secano, presentó una reducción del rendimiento productivo, peso y volumen de baya, de acuerdo a una reducción del potencial hídrico de tallo de 0.2MPa con respecto al Control observada durante el periodo de pre-verano (Conesa et al, 2012).

6. JUSTIFICACIÓN Y OBJETIVOS

La importancia que tiene el manejo racional del agua frente a la necesidad de la misma para conseguir un buen estado hídrico vegetal y un funcionamiento fisiológico no alterado, ha hecho que alcanzar el equilibrio entre ambos términos que de por sí se presentan contrapuestos, sea una prioridad para conseguir un control del rendimiento y una calidad de la uva competente para el mercado. La convergencia de estas dos problemáticas ha suscitado la búsqueda de alternativas para paliar o incluso solucionar, los problemas económicos que derivan de la falta de agua y en consecuencia, su incidencia en el marco económico de la actual crisis financiera. Por otro lado, el cultivo de las variedades apirenas ha experimentado desde hace mucho tiempo, una evolución en su destino para el consumo en fresco, teniendo una buena aceptación por parte de los consumidores, en concreto, la variedad apirena objeto de estudio ‘‘Crimson Seedless’’, conocida por su gran valor comercial para exportación. En este sentido, una de las principales características que se buscan en las variedades tintas es el correcto desarrollo del color de las bayas, sin embargo, esta variedad cuando es cultivada en climas cálidos que no presentan grandes diferencias de temperatura entre el día y la noche, a menudo tiene problemas con el desarrollo del color.

Tradicionalmente, en uva de vinificación, las técnicas de riego deficitario (RD) han aportado resultados positivos en lo concerniente a disminución del rendimiento de las bayas y mejora de las características de vinos tintos (Intrigliolo y Castel, 2009; Yeves et al., 2009). Sin embargo, los estudios de aplicación de RD en uva de mesa han sido minoría en el ámbito de la investigación (Blanco et al., 2010; Faci et al., 2014). Se conoce que el uso de las técnicas de Riego Deficitario Controlado (RDC, Chalmers et al., 1981) presentan cierta incidencia sobre el crecimiento vegetativo, el cual, al disminuir, favorece

el desarrollo productivo y de igual forma la coloración de las bayas (Williams et al., 2010). Otra variante de RD es la denominada técnica de riego por Desección Parcial del Sistema Radicular, DPR (Dry et al., 1996). Con esta técnica la mitad del sistema radicular se mantiene en proceso de desecación mediante la alternancia del riego entre las dos mitades del sistema radicular mantiene a las plantas hídricamente. Sin embargo, son muy pocos los estudios en uva de mesa que comparan los resultados obtenidos con ambas estrategias, hecho que resulta fundamental de cara a su aplicabilidad, ya que hasta la fecha, no existen ventajas claras de DPR frente a RDC, donde la viabilidad de la primera se reduce, al ser una técnica más costosa de implantar y de manejar. Además, hasta la fecha, tampoco existen estudios en la literatura que analicen en uva de mesa DPR y RDC y los posibles efectos adversos de su aplicación, cuando ésta se realiza de forma controlada y/o continuada; es decir teniendo en cuenta o no, los períodos críticos (e.g. post-envero, en nuestro caso).

Por todo ello, el objetivo de este trabajo es estudiar y comparar la respuesta hídrica y productiva de la uva de mesa cv. “*Crimson*” bajo RD y DPR aplicados de 2 formas diferentes; (i) RDc y DPRc: riego deficitario continuo durante todo la estación de crecimiento, y (ii) RDC y DPR: riego deficitario durante el periodo no crítico de post-envero. Además, se compararán los resultados obtenidos de éstos respecto a un tratamiento Control, con aportes hídricos ligeramente superiores a las necesidades máximas estimadas.

7. MATERIAL Y MÉTODOS

7.1. Características de la parcela experimental

El ensayo se realizó durante el año 2014 en una parcela de 1 ha ubicada en la explotación comercial “Agrícola Vegafrutal” (38° 15’ N; 1° 33’ W) propiedad de la empresa Frutas Esther S.A. (Fig.4), situada en el término municipal de Cieza (Murcia).

El material vegetal utilizado fue uva de mesa (*Vitis Vinifera L.*) cv. “*Crimson Seedless*” injertada sobre patrón *Paulsen 1103*, cuyo marco de plantación era de 4 m x 4 m. Se regaron a partir de un sistema de riego por goteo con una línea porta-emisores por fila de árboles con 4 goteros de 4 L h⁻¹, exceptuando los tratamientos DPR, los cuales llevaban dos líneas portaemisores, cada una con 2 goteros de 4 L h⁻¹, como más adelante se explica, para alternar el riego. La plantación tenía 11 años de edad al comienzo de la experimentación.



Figura 4. Vista general de la parcela experimental 'in situ' y SigPac.

El diseño experimental constaba de cuatro repeticiones por cada tratamiento de riego. Cada repetición estaba formada por tres filas de seis cepas cada una. En total 18 cepas por repetición. Para la recogida de datos, se utilizaban las cepas de la fila central de cada repetición, para evitar posibles contaminaciones externas al tratamiento en sí. Para la recogida de datos de la producción y calidad de la cosecha, se utilizaron las 18 cepas de cada repetición.

7.2. Análisis de suelo y agua

El suelo con una densidad aparente de $1,3 \text{ g cm}^{-3}$ y un porcentaje de materia orgánica entre 1,56% y 2,51%, siendo este último valor el del perfil 0-30 cm, presentó una textura franco arcillo limosa en los perfiles 0-30 y 30-60, y una textura franco arcillosa en el perfil 60-90, según la clasificación de la USDA (Departamento de Agricultura de Estados Unidos). El nivel de carbonato cálcico (36-40%, según perfil del suelo) es significativo y confirma el valor del pH básico, de 8,6. No presenta problemas de salinidad ya que los valores de conductividad eléctrica ($139\text{-}324\text{-}160 \mu\text{S cm}^{-1}$) en los perfiles del suelo estarían en la categoría de suelo poco salino según Vázquez y Bautista (1993). Muestra una buena capacidad de retención de agua y abonos. El agua de riego, procedente del trasvase Tajo-Segura, presentó una $\text{CE}_{25^\circ\text{C}}$ de $1,3 \text{ dS m}^{-1}$, y $\text{pH} = 8,02$.

7.3. Climatología

Los datos climatológicos fueron recogidos de la estación climática “La Carrichosa”, situada en las proximidades de la parcela experimental, perteneciente al Servicio de Información Agraria de Murcia (S.I.A.M.) de la Consejería de Agricultura y Agua de la Región de Murcia (<http://siam.imida.es>).

El clima se caracteriza por ser de tipo semiárido, con escasas precipitaciones anuales y de marcado carácter torrencial, que raras veces sobrepasan los 350 mm anuales.

A partir de estos datos, se calculó el déficit de presión de vapor (DPV) utilizando las siguientes ecuaciones (Sánchez-Toribio, 1993):

$$[\text{Eq. 1}] \quad DPV = e_s - e_a$$

$$[\text{Eq. 2}] \quad e_s = 0,6108 \exp\left(\frac{17,27 \times T}{T + 237,3}\right)$$

$$[\text{Eq. 3}] \quad e_a = e_s \times \left(\frac{HR}{100}\right)$$

donde, e_s es la presión de vapor a saturación a la temperatura del aire (kPa), e_a la presión de vapor actual (kPa), T la temperatura (°C) y HR la humedad relativa (%).

7.4. Labores culturales y fertilización

Se realizó una poda en verde (eliminación de pámpanos) para facilitar la aireación de racimos y la ganancia de color de bayas, en varios pases. Durante la parada invernal se realizó la poda de madera para la eliminación de sarmientos enfermos e improductivos y chupones.

Para el control de las malas hierbas se dieron pasadas por medio de la calle con el cultivador y las líneas (donde están situados los portagotos) por donde no pasaba el cultivador fueron tratadas con herbicida. Después del envero se hizo un tratamiento de aplicación manual de ácido abscísico (directamente sobre el racimo) para la mejora del color de las bayas.

Los árboles recibieron idénticas cantidades de N-P-K mediante fertirrigación en los 5 tratamientos de riego estudiados (Apartado 7.5). El nitrógeno fue aportado en forma de nitrato amónico y nitrato potásico, el fósforo mediante ácido fosfórico y el potasio con nitrato potásico. En primavera y verano se aportó un complejo nutricional en el que el boro

y el molibdeno se encontraban en forma mineral soluble y los restantes microelementos en forma quelatada.

Además, se realizaron tratamientos fitosanitarios en primavera y verano contra diferentes plagas y enfermedades, tales como filoxera y *Mildium*. Y en invierno se hicieron tratamientos contra la melaza.

7.5. Tratamientos de riego

Durante el período de estudio, campaña del 2014 se aplicaron los siguientes tratamientos de riego:

- **Control (CTL):** regado para satisfacer las necesidades hídricas del cultivo al 110 % de la evapotranspiración del cultivo (ETc). Las necesidades máximas del cultivo (ETc) se determinaron semanalmente a partir del producto de los valores de evapotranspiración de referencia (ET_{OP-M} , Allen et al., 1998) y de coeficientes de cultivo (Kc) determinados por Williams et al., (2003). Se establecieron comparativas de este tratamiento (referencia) con el resto.
- **Riego deficitario controlado (RDC):** riego similar a CTL durante el pre-verano (antes del cambio de color de las bayas), y al 50% del CTL durante post-verano.
- **Desecación parcial del sistema radicular (DPR):** regado como RDC pero alternando el riego en cada una de las dos mitades en las que se puede dividir el sistema radicular cuando en el lado en desecación se alcanzaba el 25% de su capacidad de campo (34%), cumpliéndose este hecho cada 10-14 días, aproximadamente.
- **Riego deficitario continuo (RDc):** Regado como RDC, pero aplicando el déficit (50% CTL) durante toda la estación de crecimiento en pre y post-verano (de Junio (cuajado) hasta final de recolección).
- **Desecación parcial del sistema radicular continuo (DPRc):** Regado como DPR, pero aplicando el déficit (50% CTL) durante toda la estación de crecimiento en pre y post-verano (de Junio (cuajado) hasta final de recolección).

Los tratamientos CTL, RDC y RDc utilizaron un único lateral por hilera de cepas con 4 emisores de $4 \text{ L h}^{-1} \text{ cepa}^{-1}$; DPR y DPRc con doble lateral por hilera de cepas con 2 emisores de $4 \text{ L h}^{-1} \text{ cepa}^{-1}$ a ambos lados de ellas (Fig. 5).

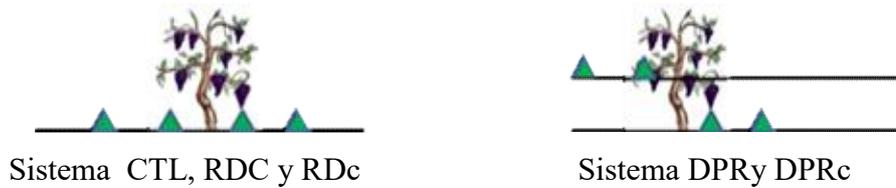


Figura 5.- Distribución de emisores en los diferentes tratamientos de riego.

7.6.- Parámetros estudiados

7.6.1.- Estado hídrico del suelo

Contenido volumétrico de agua en el suelo (Θ_v)

Se evaluó el estado hídrico del suelo a partir del contenido volumétrico de agua en el suelo (Θ_v) con sondas FDR (reflectometría en el dominio de la frecuencia), de forma discreta (Diviner 2000®, Sentek Pty. Ltd.). Para ello, se instalaron tubos de acceso de PVC de 51,5 mm de diámetro interior y 1,2 m de longitud (Fig. 6).



Figura 6. Instalación de sondas FDR en la parcela experimental y vista general del equipo Diviner 2000 utilizado.

Se colocaron 4 tubos de acceso por tratamiento a 15 cm del primer emisor más cercano a la cepa. En los tratamientos DPR y DPRc se colocaron 2 sondas FDR, una a cada lado del sistema radicular, es decir, en cada mitad de raíces (Fig. 7). La medida de Θ_v se realizó a nivel semanal, a intervalos de 10 cm para el perfil de suelo de 0-100 cm de profundidad.



Figura 7. Distribución de sondas FDR en la parcela experimental en los tratamientos DPR, DPRc (imagen 1) y RDC, RDCc (imagen 2).

Los valores de (Θ_v) obtenidos fueron expresados como contenido relativo de agua extraíble (AER; Granier, 1987)

[Eq. 4]
$$AER = \frac{R - R_{MIN}}{R_{MAX} - R_{MIN}}$$

donde R (mm m^{-1}) es el contenido de agua actual, R_{MIN} (mm m^{-1}) es el contenido de agua mínimo medido en condiciones de sequía o déficit extremo (correspondiente al 15%, en nuestro caso) y R_{MAX} (mm m^{-1}) es el contenido máximo medido a nivel de tratamiento.

7.6.2.- Estado hídrico de la planta

Potencial hídrico de tallo ($\Psi_{t,md}$)

El estado hídrico de la planta fue estudiado en todos los tratamientos mediante medidas de potencial hídrico de tallo realizadas a mediodía solar ($\Psi_{t,md}$) con una frecuencia quincenal. Para ello, se utilizó una cámara de presión (Soil Mosure Equipment Co., modelo 3000) (Fig. 8).

Para esta medida, se utilizaron 6 hojas por tratamiento, sanas, adultas y de la parte sombreada cercana al tronco o ramas principales de las cepas.



Figura 8. Cámara de presión utilizada y hoja envuelta para la medición de $\Psi_{t,md}$.

Como sugiere Hsiao (1990), a fin de obtener medidas fiables, para la determinación de ($\Psi_{t,md}$), se siguieron una serie de recomendaciones que incluyen:

- Cubrir la hoja con filme de polietileno negro y posteriormente con papel de aluminio (Fig.8). Este proceso elimina los gradientes de potencial existentes en la hoja, paraliza la transpiración y permite que se llegue a un equilibrio hídrico entre el potencial en el xilema de la hoja y el potencial en el xilema del tallo o rama en el punto de unión con el pecíolo de la hoja (Passioura, 1988).
- Realizar un corte limpio y único en el pecíolo de la hoja.
- Minimizar la pérdida de agua durante el tiempo que transcurre desde el corte de la hoja a la toma de la medida. Para ello se redujo, en la medida de lo posible, el tiempo transcurrido entre el corte de la hoja (previamente envuelta en una bolsa de plástico) y la inserción en la cámara (menos de 20 s).
- Dejar sobresalir de la cámara sólo la longitud mínima del pecíolo.
- Lograr un buen equilibrio entre las diferentes partes de la hoja. Para ello, es importante que la inyección de gas en la cámara de presión sea lenta y regular, a razón de 0.03 MPa s^{-1} , hasta la aparición de la savia por la superficie del pecíolo.
- Evitar pérdidas de gas de la cámara, para obtener una presión de equilibrio estable y lecturas fiables.

La intensidad y duración del déficit hídrico se evaluó a partir de la integral de estrés (S_{Ψ} , $\text{MPa}\cdot\text{día}$) según la ecuación definida por Myers (1988):

[Eq. 5]
$$S_{\Psi} = \sum_{i=0}^{i=t} (\Psi_{i,i+1} - \Psi_c) \cdot n$$

donde: $\bar{\Psi}_{i,i+1}$, es la media de las medidas de potencial hídrico de tallo para el intervalo $i, i+1$; $\bar{\Psi}_c$ es el máximo potencial hídrico de tallo medido durante el periodo estudiado y n el número de días en el intervalo.

Parámetros de intercambios gaseosos

Las medidas de los parámetros de intercambio gaseoso se realizaron entre las 9:00 y las 11:30 hora solar, en 6 hojas soleadas (por encima de la malla) y sanas por tratamiento. La conductancia estomática (g_s) y fotosíntesis neta (P_n), se obtuvieron con un medidor portátil (CIRAS-2 PP system, Hitchin, Hertfordshire UK) a condiciones de saturación (radiación fotosintéticamente activa, PAR $\approx 1500 \text{ mmol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$, concentración de CO_2 ambiental $\approx 380 \text{ ppm}$ y temperatura foliar $\approx 30 \text{ }^\circ\text{C}$) (Fig.7.6). La frecuencia fue quincenal desde el mes de Junio hasta el final de la recolección.



Figura 9. Medidor portátil utilizado CIRAS-2.

Los niveles deseados de luz fotosintética activa PAR se consiguieron actuando sobre una fuente de luz rojo/azul (LED) incorporada en la cubeta foliar.

A partir de los datos obtenidos, se calculó la eficiencia intrínseca de uso de agua (P_n/g_s).

7.6.3- Medidas de crecimiento vegetativo y reproductivo

Se hizo el seguimiento del estado fenológico del cultivo, utilizando la clasificación propuesta por Bagglioini et al. (1952) en uva de mesa. Para ello se seleccionaron 2 sarmientos por repetición de 3 replicas por tratamiento de riego. Las fechas que delimitan

los principales periodos fenológicos se obtuvieron cuando el 50 % de las yemas estudiadas habían alcanzado cada estado concreto. Éstas quedan reflejadas en la Tabla 10.

Tabla 10. Determinación y fecha de los principales periodos fenológicos del cultivo.

BROTACIÓN	FLORACIÓN	CUAJADO	ENVERO	MADURACIÓN	PARADA INVERNAL
10-Abril	11-May	28-May	25-Jul	17-Ago	01-Dic
					

En todas las cepas de las filas centrales testigo, se midió el diámetro del tronco con cinta métrica a unos 20 cm por debajo de la zona del anillado, con el fin de estudiar su dinámica de crecimiento anual. A partir de estos datos, se obtuvo la sección transversal del tronco (SST_t).

La dinámica de crecimiento del fruto/baya se determinó semanalmente desde el cuajado (estado fenológico I) hasta la recolección en 4 repeticiones, con 15 bayas por repetición por tratamiento de riego, con calibre digital (Mitutoyo CD-15D).

7.6.4.- Producción

La recolección se realizó de forma escalonada, en diferentes fechas, en función de las necesidades de la empresa comercial. Cada cepa se recolectó individualmente (testigo y bordes) controlando el peso de cosecha en cada corte (Tabla 11) y contando el número de racimos por cepas (testigo). El peso medio de racimos se obtuvo mediante el cociente entre el peso total obtenido en cada cepa y el número de racimos totales. El peso medio de las bayas se calculó como promedio de un muestreo de 100 bayas por repetición. El número de bayas se estimó como el cociente entre el peso medio de los racimos y el peso medio de las bayas.

Tabla 11. Fechas de los cortes de producción durante el periodo de cosecha

CORTES DE PRODUCCIÓN		
1 ^{er} corte	2 ^o corte	3 ^{er} corte
5-Sept	29-Sept	15-Oct
		

7.6.5- Parámetros de calidad

7.6.5.1.-Parámetros físicos

En cada corte, se seleccionaron muestras de 100 bayas tomadas de cada repetición y, se realizaron medidas del **diámetro ecuatorial, altura y peso fresco**. Además, se determinó la **firmeza** de las bayas a la rotura en 15 bayas por repetición, para lo cual se utilizó un medidor (LFRA-Texture Analyzer, modelo Brookfield) (Fig 10). El resultado se expresó en Newtons.

La medida del **color** se realizó sobre las bayas antes de ser procesadas. Se determinó sobre tres puntos equidistantes de la zona ecuatorial mediante un colorímetro MINOLTA mod. CR-300 (Fig 10), y se expresó como valores de CIELAB L*, C* y °H. El color queda caracterizado según un sistema tridimensional en el que las tres coordenadas están correlacionadas con tres índices básicos para la apreciación del color: *HUE* (tono o color base), *Value* (luminosidad) y *CHROMA* (saturación). La luminosidad es L* (L*=100 corresponde al color blanco; L*=0 representa el color negro). La cromaticidad (tono y croma) se indica por a* y b* conjuntamente, a* representa el eje que va desde colores verdes (-a*) hasta colores rojos (+a*), y b* representa el eje que evoluciona desde el azul (-b*) hasta colores amarillos (+b*). L*, a* y b* son las tres coordenadas de un punto en el espacio que representa el color

El ángulo HUE o Tono (Shewfelt et al., 1988) disminuye a medida que predomina el color rojo en las bayas, así, 180° corresponde al color verde puro, y 0° al rojo; viene dado por la expresión:

[Eq. 6]
$$HUE = \arctg \frac{b^*}{a^*}$$

El *CHROMA*, que representa la distancia desde el origen de coordenadas hasta el punto de color dado e indica la intensidad de color, se obtiene con la expresión:

[Eq. 7]
$$CHROMA = \sqrt{(a^*)^2 + (b^*)^2}$$



Figura 10. Medición diámetro de la baya. Vista general del colorímetro y medidor de firmeza utilizado en el ensayo.

Además, se realizó una **cata de color subjetiva** (Tabla 12), en la cual se mostraron las preferencias por parte del consumidor. En ella diversos catadores clasificaron un total de 100 bayas muestreadas por tratamiento y repetición en 5 categorías, las cuales se agruparon en tres para su mejor identificación.

Tabla 12. Clasificación utilizada para la cata de color subjetivo

	Color	Uniformidad
Categoría I-II	verde-rosado pálido	baja
Categoría III-IV	rojo	media/alta
Categoría V	rojo excesivo	alta

Fuente: Conesa et al. (2016)

7.6.5.2- Parámetros químicos

Posteriormente, la muestra de 100 bayas fue triturada con batidora y filtrada hasta obtener un mosto homogéneo sobre el que se determinó:

- pH y conductividad eléctrica

El pH y la CE se determinó con un equipo de valoración (modelo Cyberscan) (Fig.11).

- Sólidos solubles totales (°Brix)

La relación entre sólidos solubles y azúcares se encuentra en que una solución de sacarosa al 1% y a 20° C tiene un grado Brix. La medición se hizo en escala refractométrica, cuyos valores de índice de refracción se corresponden con valores de grados Brix. El mosto además de sacarosa, tiene otros azúcares, ácidos y sales. Un grado Brix no equivale exactamente a una concentración de sólidos solubles disueltos de 1g/100 ml, pero el valor obtenido es un índice comercial aproximado de esta concentración, que se acepta convencionalmente.

Los sólidos solubles totales (SST) se determinaron en una pequeña porción de zumo mediante un refractómetro. El refractómetro mide el índice de refracción, que nos indica la proporción de una luz brillante que se retarda al pasar a través de un líquido (en este caso mosto). El refractómetro dispone de una escala donde se observa directamente ese índice de refracción, expresado generalmente como grados Brix o % en SST. En este caso, la concentración en sólidos solubles totales del zumo se expresó en grados Brix.

La temperatura es un factor a tener muy en cuenta ya que todos los materiales se expanden con el calor siendo menos densos. Para una disolución de azúcares, se ha comprobado que los SST cambian un 0,5% por cada 5,6°C. Para la determinación de los grados Brix se utilizó un refractómetro digital Atago de lectura automática referida a 20° C (Fig. 11).

- Acidez total

La acidez titulable (AT) puede ser determinada mediante la titulación o valoración ácido-base de un volumen conocido de zumo con hidróxido sódico (NaOH) 0,1 N hasta llegar a un pH final de 8,2 (Fig 11). Para conocer este pH se puede usar la fenolftaleína, que tiene la particularidad de virar de incolora a rosa a ese pH, o bien utilizar un pH-metro. El NaOH se añadirá a un volumen conocido de mosto hasta que el pH alcance el valor de 8,2. Los mL de NaOH gastados en la valoración se usarán para calcular la AT en función del ácido dominante.

En este trabajo, la determinación se hizo por volumetría, es decir, se neutralizó la solución ácida mediante un alcalino en nuestro caso se utilizó NaOH 0,1 N y fenolftaleína como indicador. A un vaso de vidrio se le añadió una alícuota de zumo filtrado de 5 mL, al que se adicionaron 2 o 3 gotas de fenolftaleína y un poco de agua destilada para limpiar las paredes del vaso de posibles gotas de mosto que hayan podido quedar adheridas a las paredes. Una vez neutralizado el zumo, se produjo el cambio de color de la fenolftaleína, indicando el final de la reacción. La disolución se mantuvo en agitación durante todo el tiempo.

$$[\text{Eq. 8}] \quad \text{Acidez}(\text{gL}^{-1}) = \frac{V * 0,1 * 150/2}{V_1}$$

Siendo: V el volumen en ml de NaOH 0,1N empleados en la valoración y V_1 el volumen de zumo empleado en la disolución. Se emplearon 5 ml de zumo.



Figura 11. Medidor de pH y CE, refractómetro manual y equipo de valoración de la AT utilizados.

- Índice de madurez (IM)

Se define el índice de madurez como la relación entre los sólidos solubles totales y la acidez titulable. Dicho parámetro es muy importante a la hora de definir la madurez y calidad de los frutos puesto que existe un mínimo requerido a los SST y un máximo de acidez para que estos tengan buen sabor.

7.7. Análisis estadístico

Los datos fueron analizados estadísticamente utilizando los programas informáticos SPSS (v.19.0) y Statgraphics Plus (v.5.1), a través del análisis de la varianza (ANOVA) y de pruebas de comparación de rango múltiple de Duncan a un nivel de confianza del 95 %.

8.- RESULTADOS Y DISCUSIÓN

8.1.-Climatología, estado hídrico del suelo y agua aplicada

Durante el período de estudio, año 2014, se registró una precipitación anual de 203,2 mm, distribuida de forma irregular como es característico de la zona. La evapotranspiración de referencia (ET_0) anual fue de 1307,7 mm, con valores máximos de $7,35 \text{ mm día}^{-1}$ en los meses más cálidos y de $0,54 \text{ mm día}^{-1}$ en los meses más fríos, lo que supone fuertes déficit hídricos estacionales (Sánchez-Toribio, 1993). El déficit de presión de vapor (DPV) tuvo una tendencia similar a la temperatura máxima, registrándose los valores más altos, por encima de 4KPa, en los meses de verano, cuando la temperatura máxima superaba los 32°C (Fig. 12A).

El contenido relativo de agua extraíble (AER) durante el año de estudio, presentó valores similares en los tratamientos de CTL, DPR Y RDC durante la fase de pre-verano (valores máximos en torno a 0,9), observándose condiciones de estrés hídrico en los tratamientos DPRc y RDc (Fig.12B). En concreto, DPRc presentó ciclos de alternancia del riego durante pre y post-verano en ambas mitades del sistema radicular (lado izquierda y derecho, respectivamente) debido a la alternancia de la programación del riego cuando se alcanzaban valores de capacidad de campo inferiores al 25%, durante pre y post-verano. Durante el periodo de post-verano, el AER de los tratamientos RDC y DPR disminuyó como consecuencia del déficit impuesto, llegando a alcanzar valores mínimos de AER próximos a 0,55-0,60 en ambos tratamientos deficitarios.

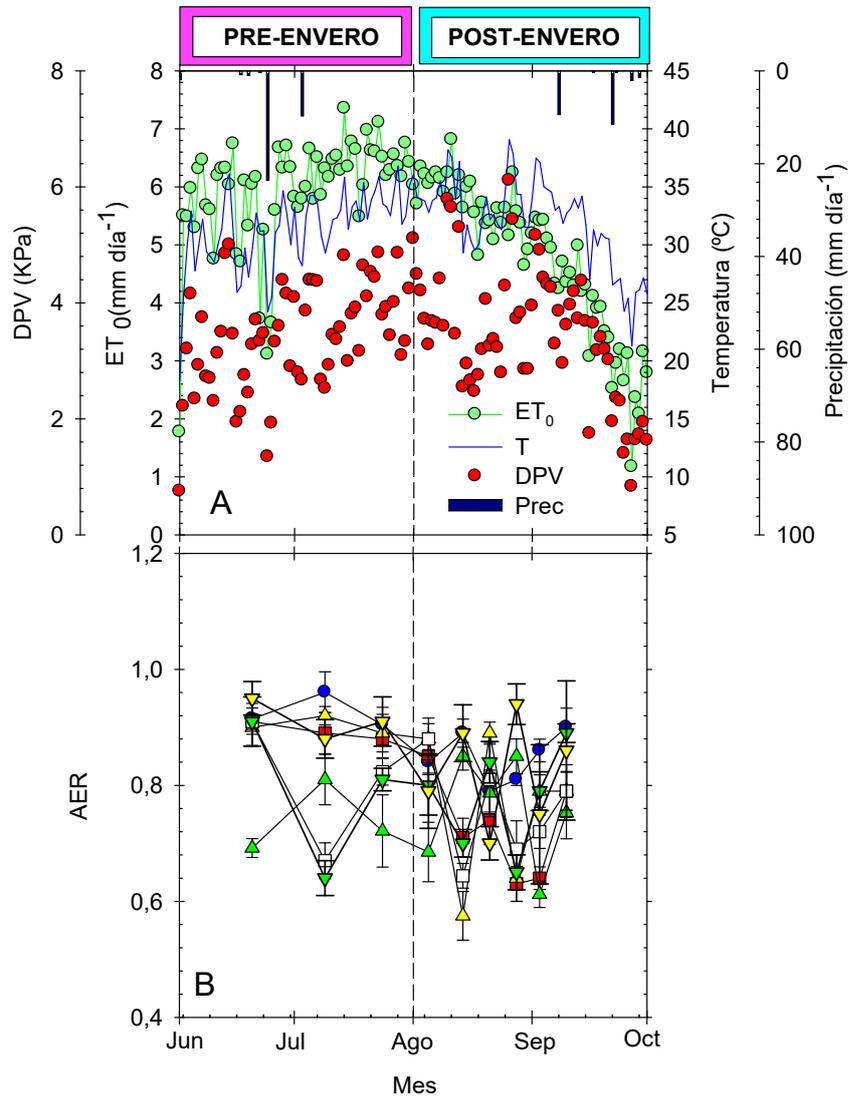


Figura 12. Evolución estacional de (A) la evapotranspiración de referencia (ET_0 , círculos verdes), temperatura máxima (T , línea azul), déficit de presión de vapor (DPV , círculos rojos) y de la precipitación ($Prec$, barras azules; y (B) del contenido relativo de agua extraíble (AER) en los tratamientos CTL (\bullet) (adecuadamente regado), RDC (\blacksquare), DPR derecha (\blacktriangle) y DPR izquierda (\blacktriangledown) (déficit moderado), RDCc (\square), DPRc derecha (\triangle) y DPRc izquierda (\triangledown) (déficit severo). Cada punto corresponde a la media de 4 sondas FDR por tratamiento. La línea vertical discontinua delimita los periodos fenológicos de pre y post-envero. Las barras verticales indican el error estándar medio de los puntos de la figura.

Diversos estudios relativos al manejo de DPR, manifiestan una disminución de las hormonas de crecimiento (síntesis de ácido abscísico (ABA) y citoquininas), en detrimento de los procesos fisiológicos (fotosíntesis, conductancia estomática, crecimiento de brotes...) y una disminución de la eficiencia instantánea de uso del agua (WUE), cuando concluye el período de desecación (Dry et al., 2000 y Davies y Zhang et al., 1991). Según

Stoll et al. (2000), debe alternarse el sector seco con el hidratado en ciclos de 10 a 14 días, para mantener el flujo de señales desde las raíces hacia los brotes y poder lograr respuestas óptimas, pues la acumulación de ABA en el sector seco es transitoria. Por otra parte, Romero et al., alternaron la parte en desecación cada 14-16 días en 2006 y cada 6-8 horas en 2008, cuando se mantuvieron valores constantes de humedad volumétrica (Θ_v) del 20%, en uva de vinificación cv. Monastrell.

La tabla 13 muestra el agua aplicada en cada tratamiento de riego ensayado y los porcentajes de ahorro de agua aplicada respecto al tratamiento CTL. La dosis de riego del tratamiento CTL, diseñado para satisfacer las necesidades hídricas máximas del cultivo, se encuentra dentro del mismo orden de magnitud recomendado para esta variedad (www.carm.es). Durante el año de ensayo, las estrategias de riego deficitario RDC y DPR supusieron una reducción en el agua aplicada del 24% y del 28%, respectivamente. En cambio, para los tratamientos deficitarios más severos, se obtuvieron reducciones de agua del 65% para RDc y del 53% para DPRc, respectivamente. Esto supone una notable reducción del consumo de agua, que a una tarifa de este período de 0,175 €/m³ según aprobado en Consejo de Ministros, supondría un ahorro de agua anual de 852 €/m³ y de 692 €/m³. Nótese que para el tratamiento CTL, el coste sería 1306 €/m³. Además del coste económico, habría que añadir el coste energético no cuantificado en este estudio.

Tabla 13. Agua aplicada y porcentaje de reducción de agua respecto al tratamiento CTL.

	CTL	RDC	DPR	RDc	DPRc
Riego aplicado (m³ ha⁻¹)	7466	5668	5330	2596	3514
Ahorro de agua respecto a:					
CTL (%)	----	24	28	65	53

8.2.- Estado hídrico de la planta y crecimiento reproductivo

La evolución estacional del potencial de tallo a mediodía ($\psi_{t,md}$) y del diámetro de baya se muestra en la figura 13. Los valores mínimos de $\psi_{t,md}$ en el tratamiento CTL estuvieron en torno a -0,68 MPa, en el mes de Agosto, derivado de la demanda climática. Los resultados obtenidos coinciden a lo observado por Conesa et al. (2015) en CTL, indicando que su suministro hídrico fue el adecuado. En este sentido, Sellés et al. (2004),

indicaron que para la variedad objeto de este estudio, los valores de $\psi_{t,md}$ pueden variar entre -0,65 a -0,9 MPa, bajo condiciones de riego de 100% Etc.

Durante el pre-envero, no se observan diferencias significativas entre los tratamientos CTL, RDC y DPR, con $\psi_{t,md}$ medios entre -0,60 y -0,63, debido a que en este período recibieron idénticos volúmenes de riego. En cambio los tratamientos RDc y DPRc presentaron una diferencia significativa respecto a los anteriores, con $\psi_{t,md}$ medios de -0,79 y -0,73 MPa respectivamente (Fig. 13B).

En post-envero, como consecuencia de la aplicación del 50% de las necesidades hídricas en los tratamientos RDC y DPR, se produjo una reducción en los valores de $\psi_{t,md}$ de estos tratamientos, con valores medios de -0,69 y -0,68 MPa, no habiendo diferencias significativas con los tratamientos deficitarios RDc y DPRc, con valores medios de -0,72 y -0,71MPa respectivamente (Tabla 14). En cambio, el tratamiento CTL no presenta disminución alguna, sino aumento en los valores de $\psi_{t,md}$, debido a que satisface las necesidades hídricas del cultivo.

Tabla 14. Valores medios de potencial hídrico de tallo al mediodía ($\psi_{t,md}$) \pm error estándar obtenidos durante pre y post-envero en el año de estudio.

	Pre-envero	Post-envero
CTL	-0,60 \pm 0,02	-0,49 \pm 0,02
RDC	-0,63 \pm 0,03	-0,69 \pm 0,03
DPR	-0,61 \pm 0,03	-0,68 \pm 0,03
RDc	-0,79 \pm 0,03	-0,72 \pm 0,03
DPRc	-0,73 \pm 0,04	-0,71 \pm 0,03

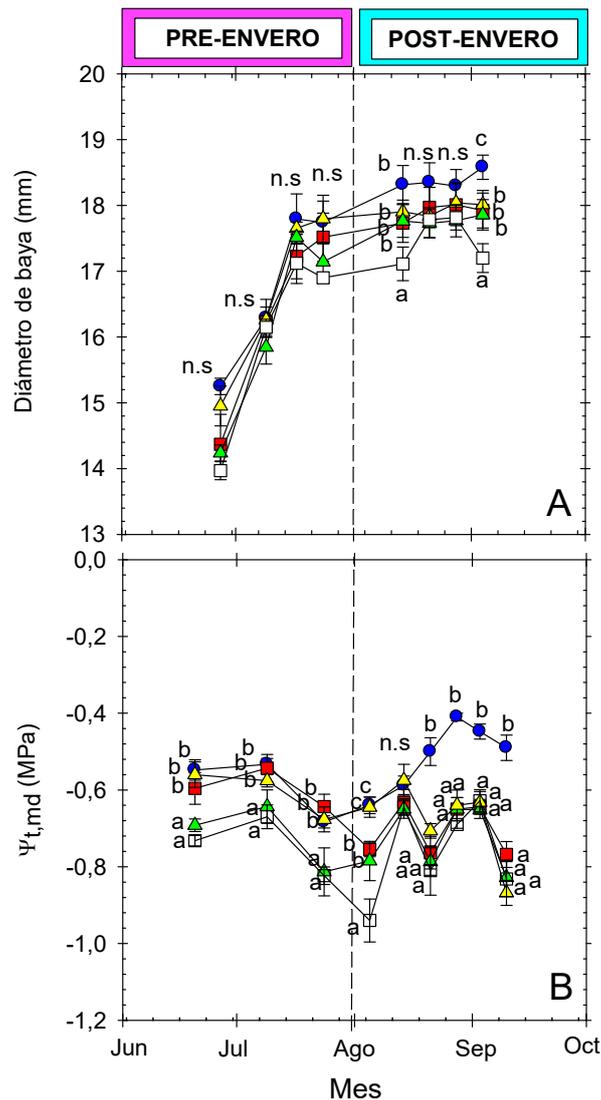


Figura 13. Evolución estacional (A) del diámetro de baya (cada punto corresponde a la media de 60 bayas por tratamiento de riego); y (B) del potencial de tallo al mediodía ($\psi_{t,md}$) (cada punto corresponde a la media de 6 hojas por tratamiento, $n=3$) en los tratamientos CTL (—●—) (adecuadamente regado), RDC (—■—) y DPR (—▲—) (déficit moderado), RDc (—□—) y DPRc (—△—) (déficit severo). La línea vertical discontinua delimita los períodos fenológicos de pre y post-envero. Las barras verticales indican el error estándar medio de los puntos de cada figura. Letras diferentes indican diferencias significativas entre tratamientos de riego según el test de rango múltiple de Duncan ($P<0.05$).

En cuanto al diámetro de baya (Fig 13A), no se observan diferencias significativas entre los diferentes tratamientos durante el período de pre-envero. Se observa que el diámetro de los frutos de todos los tratamientos aumenta conforme transcurren los días después de la brotación. En post-envero, hay diferencias significativas, al final del cultivo en el diámetro de la baya, sobre todo en RDc, con un valor medio aproximado de 17 mm,

respecto al control ($\approx 18,5$ mm), coincidiendo este dato con el mayor ahorro de agua (Tabla 13) y los valores de S_{ψ} más desfavorables en este tratamiento. También se observa al final del período una diferencia significativa en el diámetro de la baya en los tratamientos RDC, DPR y DPRc con respecto a CTL, con un valor aproximado medio de 18mm.

La evolución que muestran los potenciales hídricos y el diámetro de baya es bastante similar a la observada por Ferreyra et al. (2006), con un ensayo en esta variedad. Similar influencia del déficit de riego sobre la dinámica de crecimiento ha sido encontrada en otros frutos como en albaricoque (Torrecillas et al., 2000), naranja (Huang et al., 2000), uva (Cohen y Goell, 1988) y mandarina (González-Altozano y Castel 1999).

El mayor nivel de déficit hídrico, evaluado mediante la integral de estrés hídrico (S_{ψ} , Myers, 1988) durante pre y post-verano se alcanzaron en RDc, con valores de 10,56 MPa en pre-verano y 14,72 MPa en post-verano, y en DPRc con valores de 8,67 MPa en pre-verano y 13,77 MPa en post-verano, debido a que fueron los tratamientos con mayor déficit hídrico acumulado (Tabla 15). En pre-verano, la S_{ψ} obtenida en CTL, RDC y DPR fue similar, debido a la ausencia de déficit hídrico. Sin embargo, los tratamientos RDc y DPRc obtuvieron mayores valores de S_{ψ} , por el déficit impuesto del 50%. En post-verano, se incrementaron los valores de S_{ψ} en todos los tratamientos respecto al CTL. En este sentido, Pagán (2012), encontró una relación estrecha de S_{ψ} con el volumen de riego aplicado, indicando que el valor más alto de S_{ψ} correspondió con los mayores ahorros de agua. Este estudio coincide con los autores anteriores, ya que los mayores valores de S_{ψ} , obtenidos en RDc, corresponden con el mayor ahorro de agua (65% respecto a CTL), seguido de DPRc con un ahorro del 53% respecto a CTL (Tabla 15).

Tabla 15. Integral de estrés S_{ψ} acumulada \pm error estándar durante el año 2014 en los períodos de pre y post-verano para los tratamientos CTL (adecuadamente regado), RDC y DPR (déficit moderado) y RDc y DPRc (déficit severo).

	Integral de estrés S_{ψ}	
	Pre-verano	Post-verano
CTL	2,80 \pm 0,41	4,17 \pm 0,44
RDC	3,58 \pm 0,40	12,64 \pm 0,17
DPR	3,58 \pm 0,27	12,20 \pm 0,07
RDc	10,56 \pm 0,33	14,72 \pm 0,24
DPRc	8,67 \pm 0,18	13,77 \pm 0,20

8.3.- Intercambio gaseoso

La figura 14 muestra los valores medios de fotosíntesis neta (P_n), conductancia estomática (g_s) y de la eficiencia intrínseca de uso del agua (P_n/g_s).

En la figura de la Fotosíntesis neta (Fig. 14A), se observan que los valores menores en el período de pre-verano son los de los tratamientos de déficit hídrico más severo: DPRc y RDc. Por su parte, CTL, DPR y RDC obtuvieron valores mayores y similares, ya que recibieron la misma cantidad de agua. En post-verano, debido al comienzo del déficit hídrico en los tratamientos de DPR y RDC, todos los tratamientos tienen valores menores de fotosíntesis neta respecto al CTL. Se observa que DPRc y RDc mejoran los valores de fotosíntesis neta en post-verano, con respecto al período anterior.

Los valores de conductancia estomática (g_s) durante el pre-verano, estuvieron entre 100 y 200 $\text{mmol m}^{-2} \text{s}^{-1}$, siendo los valores menores para los tratamientos de DPRc y RDc. Durante el período de post-verano, los valores de g_s fueron menores en todos los tratamientos, sobre todo en RDC, seguido de DPRc y RDc (Fig.14B). El déficit hídrico controlado tiene un efecto sobre la activación de varios mecanismos de respuesta morfológica y fisiológica de la vid, afectando principalmente la conductancia estomática. Un cierre parcial de estomas determina una menor transpiración y una reducción en la fotosíntesis neta (Poni et al., 1993; Lovisolo y Schubert, 1998; Koundouras et al., 1999).

Además, como se puede observar en la figura 14C, la eficiencia intrínseca en el uso del agua (P_n/g_s) ha sido mucho mayor en post-verano que en pre-verano para todos los tratamientos, como se observa en la gráfica, más del doble en RDC, DPR y CTL, indicando una mejor gestión por parte de la planta del agua, en época de déficit. Los valores mayores de eficiencia se dieron en post-verano en los tratamientos RDC y DPR. Este resultados coinciden con lo observado por Conesa et al. (2012) en estudios previos de la misma parcela experimental.

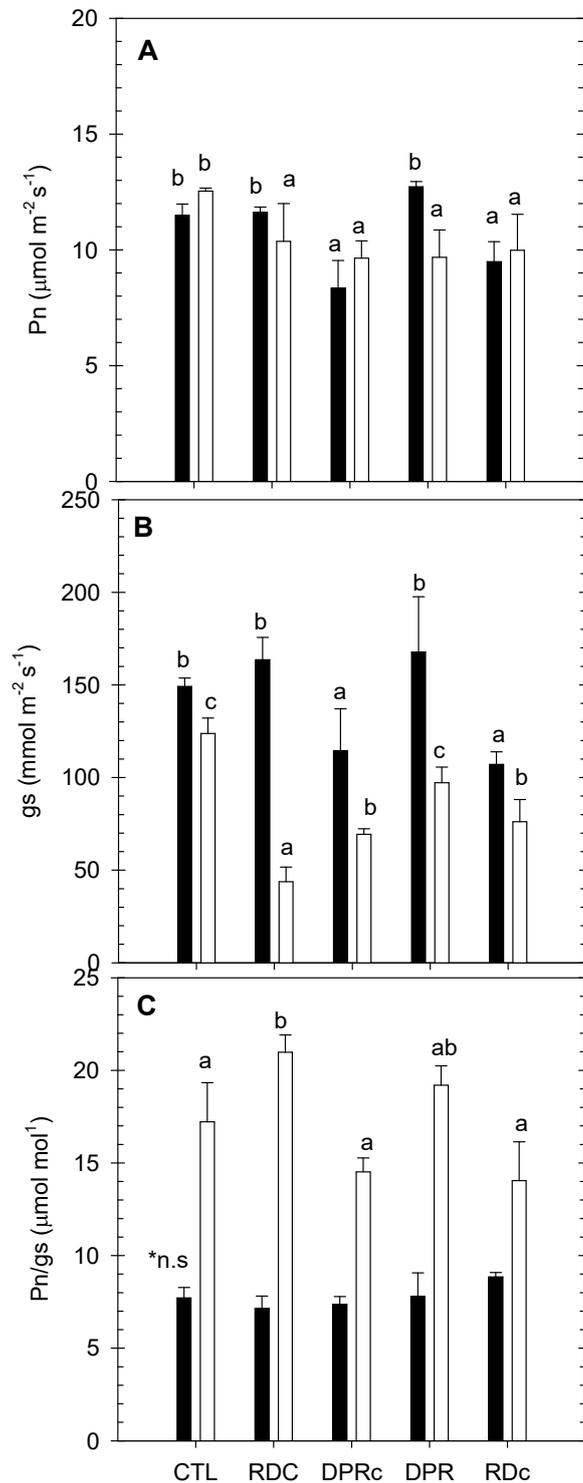


Figura 14. Valores medios durante pre (columnas negras) y post-envero (columnas blancas) de la fotosíntesis neta (P_n) (A), conductancia estomática máxima (g_s) (B) y de la relación P_n/g_s o eficiencia intrínseca de uso del agua (C) en los tratamientos CTL (adecuadamente regado), RDC y DPR (déficit moderado), RDc, y DPRc (déficit severo). Cada día de medida corresponde a la media de 6 hojas por tratamiento. Cada barra hace

mención a la medida de 5 días de medida para cada periodo fenológico. Letras diferentes indican diferencias significativas entre tratamientos de riego según el test de rango múltiple de Duncan ($P < 0.05$) en cada periodo.

8.4.- Crecimiento vegetativo

La tabla 16 muestra los valores medios de la sección transversal del tronco durante el año de ensayo, no observándose diferencias significativas entre los tratamientos de riego aplicados.

Tabla 16. Valores medios de la sección transversal del tronco \pm error estándar durante el año 2014 para los tratamientos CTL (adecuadamente regado), RDC y DPR (déficit moderado) y RDc y DPRc (déficit severo).

Sección transversal del tronco (mm ²)				
CTL	RDC	DPR	RDc	DPRc
846,35 \pm 30,91	867,34 \pm 38,93	863,22 \pm 33,58	861,53 \pm 69,11	827,13 \pm 72,84
ANOVA		n.s		

8.5.- Parámetros de cosecha

En los parámetros de cosecha (Tabla 17) no se observaron diferencias significativas entre tratamientos de riego en la producción, número de racimos por cepa, peso medio de los racimos y número de racimos por baya siendo los resultados similares a lo observado por Conesa et al. (2012). A pesar de esto, se observó cierta tendencia a incrementar el número de bayas por racimo y en consecuencia el peso medio de racimos en todos los tratamientos deficitarios respecto a CTL. Además, los valores más altos de producción total fueron ligeramente más altos en RDc y DPRc, aunque no significativos. El peso medio de bayas fue significativamente inferior en DPR, RDc y DPRc respecto al tratamiento CTL. Conesa et al. (2016), en un estudio de la misma parcela experimental no observaron diferencias significativas de RDC y DPR (donde ambos recibieron la misma cantidad de agua) con respecto al Control.

Tabla 17. *Parámetros de cosecha: producción total, n° de racimos por cepa, peso medio de racimos, n° de bayas por racimo y peso medio de las bayas durante el año de estudio en los tratamientos CTL (adecuadamente regado), RDC y DPR (déficit moderado) y RDc y DPRc (déficit severo). Valores medios de las 18 cepas por repetición (n=4).*

	Producción (kg cepa⁻¹)	N° Racimos por cepa	Peso medio Racimos (g)	N° Bayas por racimo	Peso medio bayas (g)
CTL	55,00	106,00	549,30	96,23	5,74 b
RDC	53,33	82,83	636,08	121,43	5,33 ab
DPR	54,67	90,61	630,47	131,91	4,82 a
RDc	61,67	91,50	674,17	134,72	4,99 a
DPRc	64,67	104,78	620,33	126,25	4,90 a
ANOVA	n.s	n.s	n.s	n.s	P<0,018

8.6.- Calidad físico-química

No se apreciaron diferencias significativas en el diámetro ecuatorial de baya, firmeza y valores de Cromo, pero sí en la altura, Tono (HUE) y Luminosidad. Todos los tratamientos de riego deficitario presentaron una menor altura de baya respecto al CTL. Los tratamientos RDc y DPRc mostraron valores de Cromo y Luminosidad más bajos en comparación con el resto de tratamientos evaluados (Tabla 18). En cuanto al Tono, hubo diferencias significativas con respecto al CTL en todos los tratamientos deficitarios, sobre todo en RDc y DPRc, lo que significa que la bayas obtuvieron un color/tono rojo más intenso (Serrano-Flores et al., 2009, Mena et al. 2013; Conesa et al., 2015).

El riego deficitario también afectó al color subjetivo de las bayas, pues los catadores clasificaron entre el 80-85% de las bayas de los tratamientos de riego deficitario dentro de la categoría III-IV. Los tratamientos RDc y DPRc (déficit severo) fueron los únicos que obtuvieron resultados en la clasificación de la categoría V (1,67 y 2,33% respectivamente), lo que concuerda con los valores obtenidos en Tono y Luminosidad. En cambio en el tratamiento CTL, el 65 % de las bayas muestreadas se englobaron dentro de la categoría III-IV, mientras que el 35% restante lo hizo en la categoría I-II (correspondientes a peores características de color).

Tabla 18. Calidad física en la cosecha: diámetro ecuatorial, altura, firmeza, parámetros de color (Hue, °C y L) y color subjetivo de la baya durante el año de estudio en los tratamientos CTL (adecuadamente regado), RDC y DPR (déficit moderado) y RDc y DPRc (déficit severo). Promedio de 100 bayas por repetición (n=4).

	Calidad física						Color subjetivo(%)		
	Diámetro						III-		
	ecuatorial (mm)	Altura (mm)	Firmeza (N)	Tono (HUE)	CROMA (°C)	Luminosidad (L)	I-II	IV	V
CTL	17,79	28,71 b	13,53	57,72 c	13,53	34,78 c	34,67	65,33	0,00
RDC	17,12	25,37 a	11,20	57,66 bc	12,67	34,26 bc	16,33	83,67	0,00
DPR	16,66	24,72 a	11,83	57,60 ab	12,70	32,60 abc	19,67	80,33	0,00
RDc	16,86	24,17 a	9,98	57,54 a	13,90	30,41 a	13,00	85,33	1,67
DPRc	16,69	25,16 a	11,01	57,55 a	12,36	31,86 ab	14,00	83,67	2,33
ANOVA	n.s.	0,022	n.s.	0,008	n.s.	0,01	-	-	-

En cuanto a la calidad química, se observaron diferencias estadísticamente significativas en los valores de sólidos solubles totales (SST) y de conductividad eléctrica (CE). En cuanto a los SST, se aprecia un ligero aumento en el tratamiento RDc, posiblemente asociado a un menor peso de la baya respecto al control (Tabla 19) (Chaves et al. 2007).

Los datos de SST concuerdan con el estudio de Mena et al. (2013), en cual se indica que los SST aumentaron en los tratamientos de riego deficitario en granado. Castel y Buj. (1990) encontraron una buena correlación lineal entre el aumento de los sólidos solubles y el déficit hídrico precosecha soportado. En concreto, parte de este aumento puede estar asociado a un efecto- concentración por la pérdida de peso acumulada en los frutos, o como indica Barry et al. (2004) a un efecto osmótico.

También se observó una diferencia significativa, mayor en RDc y algo menor en DPR en los datos de CE.

Tabla 19. Calidad química en la cosecha: peso fresco, sólidos solubles(SST), acidez titulable (AT), índice de madurez (IM), pH y conductividad eléctrica (CE), durante el año de estudio en los tratamientos CTL (adecuadamente regado), RDC y DPR (déficit moderado) y RDc y DPRc (déficit severo). Promedio de 100 bayas por repetición (n=4).

Calidad química					
SST					
	(°Brix)	AT (g L ⁻¹)	IM	pH	CE _{25°C}
CT	19,46 a	6,3	30,99	3,78	3,33 a
RDC	20,06 a	5,95	33,74	3,78	3,39 a
DPR	20,20 a	5,6	36,32	3,87	3,45 ab
RDc	21,33 b	6,1	35,15	3,93	3,75 b
DPRc	20,13 a	5,7	35,39	3,95	3,25 a
ANOVA	0,018	n.s	n.s	n.s	0,047

8.7.- Eficiencia del uso del agua (EUA)

La eficiencia del uso del agua (EUA) nos indica la cantidad de Kg de uva producida por m³ de agua aplicada. Así, la figura 15 representa la EUA, y los porcentajes de incremento de EUA comparados con el CTL. EUA se incrementó en los tratamientos deficitarios, tanto más cuanto mayor fue la intensidad del estrés hídrico. En este sentido, el tratamiento de RDc obtuvo el valor mayor de EUA, aproximadamente de 15 kg m⁻³, siendo este valor un 69% mayor a CTL. Le sigue el tratamiento de DPRc con un valor aproximado de 11,5 kg m⁻³ siendo un 60% superior a CTL. También destacan en eficiencia, pero en menor grado, los tratamientos DPR y RDC presentado menores incrementos de EUA que los tratamientos deficitarios continuos. En concreto, dentro de los tratamientos de déficit de riego severo (DPRc y RDc), destaca el tratamiento RDc. En cambio, en los tratamientos de déficit de riego moderado (DPR y RDC), destaca el tratamiento DPR. Estos resultados coinciden con Williams et al. (2010), Blanco et al. (2010) y Conesa et al. (2016) donde la aplicación de un déficit hídrico moderado durante la época de maduración de “Thomson Seedless”, “Autumn Royal” y “Crimson Seedless” respectivamente, incrementó la eficiencia del uso del agua.

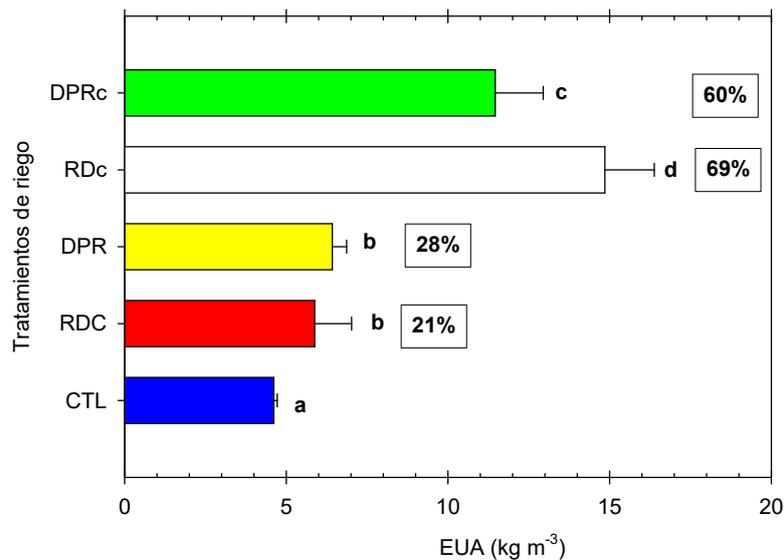


Figura 15. Eficiencia de uso del agua (EUA, kg m⁻³) en los tratamientos de riego ensayados: CTL (adecuadamente regado), RDC y DPR (déficit moderado), RDCc y DPRc (déficit severo). Letras diferentes indican diferencias significativas entre tratamientos de riego según el test de rango múltiple de Duncan ($P < 0.05$).

8.8.-Comparativa entre los tratamientos de riego RDC, DPR, RDCc y DPRc

En la siguiente tabla comparativa (Tabla 20), se distinguen las diferencias observadas entre los tratamientos realizados, en cuanto a producción, calidad de la cosecha, ahorro y eficiencia de uso del agua.

No se observan grandes diferencias entre RDC y DPR, sólo un menor peso medio de baya y mayor Tono (HUE) en DPR; en cambio sí hay mayores diferencias entre RDCc y DPRc, sobre todo en ciertos parámetros de la calidad química (sólidos solubles totales y CE_{25C}) y en el ahorro y en la eficiencia de uso del agua (EUA), saliendo mejor valorado RDCc. Si comparamos RDC con RDCc, vemos que RDCc tiene mejores valores en ciertos parámetros de la calidad física (Tono y Color subjetivo) y en los sólidos solubles totales (SST), añadiendo los valores muchos más altos en el ahorro y la eficiencia de uso del agua. Si comparamos DPR con DPRc, observamos que DPRc tiene mejores valores en ciertos parámetros de la calidad física (Tono y Color subjetivo) y valores más altos en el ahorro y la eficiencia de uso del agua. Todos los tratamientos están por debajo del CTL en los parámetros de peso medio y altura de la baya. Comparando todos los tratamientos de riego deficitario, se puede concluir que el que obtiene unos ligeros mejores resultados es RDCc.

Tabla 20. Comparativa entre los diferentes tratamientos. Se ha dado el valor medio 3 al tratamiento control, 4 y 5 significan valores por encima del tratamiento control (mejores características), 5+ está por encima del nivel de 5; 2 y 1 por debajo del tratamiento control (peores características). De peor a mejor valoración, la escala es 1-2-3-4-5-5+.

PARÁMETROS	CTL					RDC					DPR					RDc					DPRc									
	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5					
PRODUCCIÓN																														
Producción						3					3					3					3									
Nº Racimos por cepa						3					3					3					3									
Peso medio Racimos						3					3					3					3									
Nº Bayas por racimo						3					3					3					3									
Peso medio bayas						3					2 3					2					2					2				
CALIDAD FÍSICA																														
Diámetro ecuatorial						3					3					3					3									
Altura						3					2					2					2					2				
Firmeza						3					3					3					3					3				
Tono						3					3 4					4 5					5					5				
Croma						3					3					3					3					3				
Luminosidad						3					2 3					2					1					1 2				
Color subjetivo						3					4					4					5					5				
CALIDAD QUÍMICA																														
SST						3					3					3					4					3				
AT						3					3					3					3					3				
IM						3					3					3					3					3				
pH						3					3					3					3					3				
CE _{25°C}						3					3 4					3					4					3				
AHORRO DE AGUA						3					4					4					5					5				
EUA						3					4					4					5+					5				

9.-CONCLUSIONES

Las principales conclusiones a las que se han llegado en el Presente Trabajo Fin de Máster son:

- Este estudio muestra la posible idoneidad de utilizar riego deficitario controlado para la variedad de uva de mesa cv. Crismson Seedles, ya que las estrategias de riego deficitario RDC y DPR supusieron un ahorro del 24% y del 28% respectivamente, y para los tratamientos más severos, del 65% para RDc y del 53% para DPRc, respecto al tratamiento CTL.
- En los parámetros de cosecha no se observaron diferencias significativas entre tratamientos de riego, excepto en el peso medio de la baya, donde fue ligeramente menor en los tratamientos deficitarios.
- Los parámetros de calidad físico-química fueron similares respecto al CTL, excepto en los siguientes casos:
 - La altura de la baya fue menor en todos los tratamientos deficitarios con respecto a CTL.
 - Mejoraron los parámetros de color (Tono) en todos los tratamientos de riego deficitario, sobre todo en DPRc y RDc.
 - En cuanto a la cata realizada para analizar el color subjetivo, los catadores clasificaron entre el 80-85% de las bayas de los tratamientos de riego deficitario dentro de la categoría III-IV. Los tratamientos RDc y DPRc (déficit severo) son los únicos que obtuvieron resultados en la clasificación en la categoría V.
 - En cuanto a la calidad química, los SST mejoran en el tratamiento RDc, respecto al resto. También se observó una diferencia significativa mayor en RDc y algo menor en DPR en los datos de CE.
- Existen diferencias significativas en los valores de $\psi_{t,md}$ en RDc y DPRc en pre-verno, con respecto al resto de tratamientos, estando éstos en torno a 0,15MPa más bajos que CTL. En post-verno, como consecuencia de la aplicación del 50% de las necesidades hídricas en RDC y DPR, se produjo una reducción en los valores de $\psi_{t,md}$ de estos tratamientos, no existiendo diferencias significativas con los tratamientos deficitarios RDc y DPRc. En cambio, el tratamiento CTL no presentó

disminución alguna, sino que aumentó en los valores de $\psi_{t,md}$, debido a que satisface las necesidades hídricas del cultivo.

- La eficiencia intrínseca de uso del agua (P_n/g_s) ha sido mucho mayor en post-verano que en pre-verano para todos los tratamientos, indicando una mejor gestión por parte de la planta del agua, en época de déficit. Los valores mayores de esta eficiencia se dieron en post-verano en los tratamientos RDC y PDR.
- En cuanto a la eficiencia de uso del agua, EUA, RDC es un 69% más eficiente a CTL. Le sigue el tratamiento de DPRc siendo un 60% superior al CTL. También destacan en eficiencia, pero en menor grado, los tratamientos DPR y RDC, presentando valores de EUA del 28% y del 21% respectivamente.
- En la tabla de comparación realizada en el punto 8.8 (Tabla 20) entre los diferentes tratamientos de riego aplicados se obtuvo que:
 - No se muestran grandes diferencias entre RDC y DPR, sólo un menor peso medio de baya y mayor Tono en DPR.
 - RDC tiene mejor valoración que DPRc, en SST y EUA.
 - RDC tiene mejor valoración que RDC, en Tono, Color subjetivo y EUA.
 - DPRc tiene mejor valoración que DPR, Tono, Color subjetivo y EUA.

Por todo ello, se puede resumir que los tratamientos de riego deficitario moderado RDC y DPR mejoraron el color de las bayas, no encontrándose en los resultados grandes diferencias entre ellos. Los tratamientos de riego deficitario severo, RDC y DPRc, obtuvieron los mejores resultados en el color de la baya. Todos los tratamientos deficitarios tienen valores similares en firmeza, y de producción total. En cambio disminuyen el peso y la altura de la baya.

Por tanto, los tratamientos de riego deficitario, pueden ser una opción para esta variedad objeto de estudio cv. *Crimson Seedles*, ya que mejoran aspectos de la calidad física y química de la baya (sobre todo el color, parámetro que suele presentar problemas en esta variedad). Los ahorros de agua son notables en los tratamientos moderados y considerables en los severos. Parece destacar en este ensayo RDC sobre el resto de tratamientos, además de que DPR y DPRc lleva asociado un mayor coste en su instalación.

No obstante, serán necesarios más años de estudio para obtener conclusiones, y observar si la tendencia de este ensayo continúa, ya que estudios anteriores siempre nos han indicado que hay que tener en cuenta el período crítico de pre-verano.

10. BIBLIOGRAFÍA

Allen, R. G., Pereira, L. S., Raes, D., and Smith, M. (1998). Crop evapotranspiration-Guidelines for computing crop water requirements-FAO Irrigation and drainage paper 56. FAO, Rome, 300 (9), D05109.

Baggioloni, M. (1952). Les stades repérés des arbres fruitiers a noyau. Revue romande d'Agriculture, Viticulture et d'Arboriculture, 8: 3-4.

Barry, G.H., Castle, W.S., y Davies, F.S. (2004). Rootstocks and Plant Water Relations Affect Sugar Accumulation of Citrus Fruit Via Osmotic Adjustment. Journal of the American Society for Horticultural Science. 129: 881-889.

Blanco, O., Faci, J.M., y Negueroles, J. (2010). Response of table grape cultivar “*Autumn Royal*” to regulated deficit irrigation applied in post- veraison period. Spanish Journal of Agricultural Research 8: 76-85.

Cantín, C., Fidelibus, M. and Crisosto, C. (2007). Application of abscisic acid (ABA) at veraison advanced red color development and maintained postharvest quality of “*Crimson seedless*” grapes. Postharvest Biology and Technology 46: 237-241.

Castel, J.R. y Buj, A. (1990). Response of Salustiana oranges to high frequency deficit irrigation. Irrigation Science Journal. 11: 121-127.

Castel, J.R. y Fereres, E. (1982). Responses of young almond trees to two drought periods in the field. HortScience. 57 (2): 175-187.

Chalmer, D.J. (1989). A physiological examination of regulated deficit irrigation. New Zealand Journal of Agricultural Research. 4: 44-48.

Chalmers. D. (1993). Connectionism and compositionality: Why fodor and phylyshyn were wrong. Philosophical Psychology Journal. 6 (3): 305-319.

Chalmers, D.J., Mitchell, P.D. y Van Heek, L.A.G. (1981). Control of peach tree growth and productivity by regulated water supply, tree density, and summer pruning. Journal of the American Society for Horticultural Science, 106: 307–312.

Chavés, M.M., Santos, T.P., Souza, C.R., Ortuño, M.F., Rodriz, M.L., Lopez, C.M., Maroco, J.P., and Pereira, J.S. (2007). Deficit irrigation in grapevine improves water-use-efficiency without controlling vigour and production quality. Annual Applied. Biology. 150: 237-252.

Cohen, A., Goell A., (1988). Fruit growth and dry matter accumulation in grapefruit during periods of water with holding and after reirrigation. *Australian Journal of Plant Physiology*. 15: 633-639.

Conesa, M.R., de la Rosa, J.M., Artés-Hernández, F., Dodd, I.C., Domingo, R., Pérez-Pastor, A. (2015). Long-term impact of deficit irrigation on the physical quality of berries in “*Crimson Seedless*” table grapes. *SCI*. DOI 10.1002/jsfa.6983.

Conesa, MR., de la Rosa, JM., Corbalán, M., Pérez-Pastor, A., Domingo, R. (2012). Influencia de las estrategias de riego deficitario controlado en el color de uva de mesa cv. “*Crimson Seedless*”. V Introducción a la investigación de la UPCT. ISSN: 1888-8356.

Conesa, M.R., de la Rosa, J.M., Pérez-Pastor, A., Domingo, R., Corbalán, M., Pagán, E. (2012). Effects of different deficit irrigation strategies on the yield and berry quality of table grape, orchad Crimson. 4TH Emuni Research Resouk. The Euro-Mediterranean student Multi-conference. Murcia, 211-219.

Conesa, M.R., Falagán, N., de la Rosa, J.M., Aguayo, E., Domingo, R., Pérez-Pastor, A. (2016). Post-veraison deficit irrigation regimes enhance berry coloration and health-promoting bioactive compounds in “*Crimson Seedless*” table grapes. *Agr. Water Manage*. 163: 9-18.

Davies, W.J. y Zhang. (1991). Root signals and regulation of growth and development of plants in drying soil. *Annual Review of Plant Physiology*, 42: 55–76.

Dry, P. R., Loveys, B, Botting, D. G., Düring, H., (1996). Effects of partial root-zone drying on grapevine vigour, yield, composition of fruit and use of water. In *Proceedings of the Ninth Australian Wine Industry Technical Conference*: 128-131.

Dry, P.R., Loveys, B.R., McCarthy, M.G., y Stoll, M. (2001). Strategic irrigation management in Australian vineyards. *Progrès Agricole et Viticole*. Vol 118: 457- 470.

Dry, P.R., Loveys, B.R., y Düring, H. (2000). Partial drying of the rootzone of grape. I. Transient changes in shoot growth and gas exchange. *Vitis*, 39: 3-7.

Faci, J.M., Blanco, O., Medina, E.T., Martínez-Cobb, A. (2014). Effect of post veraison regulated deficit irrigation in production and berry quality of Autumn .Royal and Crimson table grape cultivars. *Agr. Water Manage*. 134: 73-83.

Ferrara, G., Mazzeo, A., Matarrese, A.M.S., Pacucci, C., Pacifico, A., Gambacorta, G., Faccia, M., Trani, A., Gallo, V., Cafagna, I. and Mastroilli, P. (2013). Application of

abscisic acid (S-ABA) to “*Crimson Seedless*” grape berries in a Mediterranean climate: effects on colour, chemical characteristics, metabolic profile, and S-ABA concentration. *Journal of Plant Growth Regulation* 32, 491–505.

Ferreira R., Selles, G., y Selles S. (2001). Riego deficitario controlado en uva de mesa. Instituto de investigaciones agropecuarias. Boletín INIA N° 60. 44p.

Ferreira, R., Selles, G., y Burgos, L. (1998). Frutales: riego deficitario controlado. Instituto de investigaciones agropecuarias. Centro de investigación regional La Platina. Boletín INIA N° 70. 66p.

Ferreira, R., Sellés, G., Silva, H., Ahumada, R., Muñoz, I., y Muñoz, V. (2006). Efecto del agua aplicada en las relaciones hídricas y productividad de la vid “*Crimson Seedless*”. Universidad de Santiago de Chile. 41: 1109-1118.

García García, J., Martínez-Cutillas, A., Romero, P. (2012). Financial analysis of wine grape production using regulated deficit irrigation and partial-root zone drying strategies. *Irrigation Science* 30: 179–188.

Goldhamer, D. A. y Shackel, K. A. (1989). Irrigation cut off and drought irrigation strategy effects on almond. In: 17th. Annual Almond Research Conference. Modesto: 35-37.

González-Altozano, P., Castel, J.R. (1999). Regulated deficit irrigation in 'Clementina de Nules' citrus trees. I: Yield and fruit quality effects. *The Journal of Horticultural Science and Biotechnology*. 74: 706-713.

Goode, J.E. y Higgs, K.H. (1973). Water osmotic and pressure potential relationships in apple leaves. *Journal of Horticultural Science*. 48: 203-215.

Granier, A. (1987). Evaluation of transpiration in a Douglas-fir stand by means of sap flow measurements. *Tree Physiology*, 3(4), 309-320.

Hsiao, T.C. (1990). Measurements of plant water status. In: Steward, B.A., Nielsen, D.R. (Eds.), *Irrigation of Agricultural Crops*. Agronomy Monograph No 30. American Society of Agronomy, Madison, Wis. 243–279.

Huang, X.M., Huang, H.B., y Gao, F.F. (2000). The growth potential generated in citrus fruit under water stress and its relevant mechanisms. *Scientia Horticulturae*. 83: 227-240.

Intrigliolo, D.S., Castel, J.R. (2004). Continuous measurement of plant and soil water status for irrigation scheduling in plum. *Irrigation Science* 23:93–102.

Intrigliolo, D.S., y Castel, J.R. (2009) .Response of *Vitis vinifera* cv. “*Tempranillo*” to partial root-zone drying in the field: water relations, growth, yield and fruit and wine quality. *Agr. Water Manage.* 96:282–292.

Koundouras, S., Van Leeuwen, C., Seguin, G., and Glories, Y. (1999). Influence of water status on vine vegetative growth, berry ripening and wine characteristics in mediterranean zone (exemple of Nemea, Greece, variety Saint-Georges, 1997). *Journal International des Sciences de la Vigne et du Vin*, 33(4), 149-160.

Loveys, B.P., Dry, Stoll, M., y McCarthy , M. (2000). Using plant physiology to improve the water use efficiency of horticultural crops. *Acta Horticulturae.* 537:187-197.

Lovisoló, C. and Schubert, (1998). Effects of water stress on vessel size and xylem hydraulic conductivity in *Vitis vinifera* L. *A Journal of Experimental Botany*, Vol. 49, No. 321: 693–700.

Marcilla, J. (1954). *Tratado práctico de Viticultura y Enología españolas.* SAETA. Madrid. 807 p.

Matthews M., y M. Anderson. (1988). Fruit ripening in *Vitis vinifera* L.: Responses to seasonal water deficits. *American Journal of Enology and Viticulture.* 39: 313-320.

McCarthy, M.G., Loveys, B.R., Dry, P.R., Stoll, M., (2002). Regulated deficit irrigation and partial rootzone drying as irrigation management techniques for grapevines. *Water reports* 22: 79–88.

Mena, P., Galindo, A., Collado-González, J., Ondoño, S., García-Viguera, C., Ferreres, F., Torrecillas, A., Gil-Izquierdo, A. (2013). Sustained deficit irrigation affects the colour and phytochemical characteristics of pomegranate juice. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, Vol 93, Issue 8: 1922–1927.

Ministerio de Medio Ambiente, Medio Rural y Marino (MMA) (2007): *Precios y Costes de los Servicios de Agua en España. Informe integrado de recuperación de costes de los servicios de agua en España*, Madrid, MMA.

Munns, R., Cramer, GR. (1996). Is coordination of leaf and root growth mediated by abscisic acid? *Plant and Soil* 185, 33–49.

Myers, B.J. (1988). Water stress integral, a link between short-term stress and long-term growth. *Tree Physiology*, 4:315-323.

Naor, A. y Cohen, S. (2006). Sensitivity and variability of maximum trunk shrinkage, Midday Stem Water Potential and Transpiration Rate in Response to Withholding Irrigation from Field-grown Apple Trees. *HortScience.* 38: 547-551.

- Pagán, Elisa.(2012). Uso de indicadores del estado hídrico de la planta para la optimización del riego en cultivos leñosos. Universidad Politécnica de Cartagena. 185 pp.
- Parlange, J. Y., Turner N, C., Waggoner, P. E. (1975). Water uptake, diameter change, and non linear diffusion in tree stems. *Plant Physiology* 55, 247- 50.
- Passioura, J. B. (1988). Water transport in and to roots. *Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology*, 39: 245-265.
- Pérez Camacho. F, (1992). La uva de mesa. Mundiprensa. 153pp.
- Poni, S., Lakson, A., Turner J., y Melious, R. (1993). Interactions of crop level and late season water stress on growth and physiology of field-grown concord grapevines. *American Journal of Enology and Viticulture*. 45:2:252-258.
- Puyo, M. (1992). Influencia de diferentes regímenes de riego sobre el desarrollo vegetativo, productividad, maduración y calidad de vinos *Cabernet Sauvignon*. Pontificia Universidad Católica de Chile. 101 pp
- Reynier, (2005) .Manual de viticultura. Mundiprensa. 497pp
- Ribéreau-Gayon, P., y Peynaud, E. (1986). Tratado de Ampelología. Ciencias y Técnicas de la viña. Tomo II: Cultura, patología, defensa sanitaria de la viña. Ed. Hemisferio Sur S.A. Buenos Aires. 659 pp.
- Ruiz-Sánchez, M.C., Domingo, R., y Castel, J.R. (2010). Deficit irrigation in fruit trees and vines in Spain. *Spanish Journal of Agricultural Research* 8(S2), S5-S20.
- Romero, P., Gil-Muñoz, R., Fernández-Fernández, J.I., del Amor, F.M., Martínez-Cutillas, A., García-García, J. (2015). Improvement of yield and grape and wine composition in field-grown Monastrell grapevines by partial rootzone irrigation, in comparison with regulated deficit irrigation. *Agri. Water Manage.* 149: 55-73.
- Sánchez Toribio y Noguera. (1993). Climatología e hidrología agraria de la región de Murcia en 1992. Consejo Superior de Investigaciones Científicas.
- Schultz , H., y Matthews , M. (1988). Vegetative growth distribution Turing water deficits in *Vitis vinifera L.* *Australian Journal of Plant Physiology* 15(5)641 – 656.
- Sellés, G., Ferreyra, R., Muñoz, I., y Silva, H. (2004). Physiological indicators of plant water status as criteria for irrigation scheduling in table grapes cv. '*Crimson Seedless*', irrigated by drip. *Acta Horticulturae*, 664: 599–605.

Serrano-Flores, C., Del Carpio Jiménez, C., y Giusti, M. (2009). Caracterización de las antocianinas de los frutos de *Berberis boliviana* Lechler. Revista de la Sociedad. Química de. Perú, 75: 76-86.

Shewfelt, R.L., C.N. Thai, and J.W. Davis. (1988). Prediction of changes in color of tomatoes during ripening at different constant temperatures. Journal Food Science. 53:1433-1437.

Stoll, M., Loveys, B., y Dry, P. (2000). Hormonal changes induced by partial rootzone drying of irrigated grapevine. Journal of Experimental Botany, 51(350), 1627-1634.

Sylversten, J.P. (1985). Integration of water stress in fruit trees. HortScience. 20: 1039-1043.

Taiz, L., y Zeiger, E. (2002). Plant Physiology. Third Edition. Sinauer Associates, Inc. 690 p.

Torrecillas, A., Alarcón, J.J., Domingo, R., Planes, J. y Sánchez-Blanco, M.J. (1996). Strategies for drought resistance in leaves of two almond cultivars. Plant Science. 118 (2): 135-143.

Torrecillas, A., Domingo, R., Galego, R. and Ruiz-Sánchez, M.C. (2000). Apricot tree response to irrigation withholding at different phenological periods. Scientia Horticulturae. 85: 201–215.

Turner D.W., (1990), Modelling demand for nitrogen in the banana, Acta Horticulturae, 275: 497-503

Urbano Terrón, P. (1995). Tratado de Fitotecnia General. Mundiprensa. 895pp

Vázquez, A. A., y AN Bautista. (1993). Guía para interpretar el análisis químico de suelo y planta. Universidad Autónoma Chapingo, Departamento de Suelos, Chapingo, México.

Williams L., Phene C., Grimes D., Trout T. (2003). Water use of mature *Thompson Seedless* grapevines in California. Irrigation Science. 22: 11- 18.

Williams, L.E., Phene, C.J., Grimes, D.W., y Trout, T.J. (2003). Water use of young *Thomson Seedless* grapevines in California. 2003. Irrigation Science 22: 1–9.

Williams, LE., Grimes, DW y Phene, CJ. (2010). The effects of applied water at various fractions of measured evapotranspiration on water relations and vegetative growth of *Thompson Seedless* grapevines. Irrigation Science 28:221- 232.

Winkler, A., Cook, J., Kliewer, N., y Lider, A. (1974). General viticulture. University of California Press. 710 p

Yeves A., Pérez D., Risco D., Intrigliolo, D.S., Castel J.R., (2009). Estrés hídrico pre-envero versus post-envero en la vid cv. *'Tempranillo'* en Requena. Respuesta agronómica, fisiológica y calidad de la uva. I Congreso Ibérico de Ciencias Hortícolas, Logroño. Actas de Horticultura 54, 387-388.

Zegbe, J.A., Serna-Pérez, A.,(2011).Partial rootzone drying maintains fruit quality of 'Golden Delicious' apples at harvest and postharvest. Scientia Horticulturae 127: 455-459.

Páginas web consultadas:

www.carm.es Consejería de Agua, Agricultura y Medio Ambiente de la Región de Murcia

www.siam.imida.es Sistema de Información Agraria de Murcia

www.magrama.gob.es Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente.

www.ec.europa.eu Comisión Europea.