

Riego deficitario controlado y deshojado temprano en la vid (*Vitis vinifera* L.) var. Tempranillo en Utiel-Requena. Efectos sobre la respuesta agronómica y la calidad de la uva.

Autor: David Risco Arias

Directores: Juan Ramón Castel y Diego Intrigliolo

Director académico: Bernardo Pascual

Mayo 2012



Agradecimientos

Esta investigación ha sido financiada por los proyectos Rideco-Consolider CSD2006-0067, INIA RTA2005-0038 y RTA2008-00037-C04-01, y con la ayuda de una beca predoctoral del INIA. Se agradece a la Fundación Lucio Gil de Fagoaga de Requena y a Caja Campo la cesión y apoyo en la parcela experimental.

A Juan Ramón Castel y Diego Intrigliolo por el diseño experimental de los ensayos, la elección de la metodología utilizada, la revisión bibliográfica y la corrección de la tesis.

A Toni Yeves y Diego Pérez por los datos de potencial hídrico y la programación de riego de la parcela, y a Ángela Martínez, Felipe Sanz, Laura Pérez, Carlos Ballester y Javier Castel por la ayuda en la toma de datos de campo y laboratorio.

A M.D. Climent (UPV), M.D. Esteve (UPV), Esperanza Valdés (INTAEX) y Alejandra Salvador (IVIA) por enseñarme a realizar análisis de calidad en uvas y en particular análisis de compuestos fenólicos. Por estar siempre dispuestas a ayudarme.

A Pedro Ferrer y Luis Bonet del Servicio de Tecnología del Riego (IVIA) por los datos climáticos.

A Carlos Ramos, Paco, Piedad, José Miguel, Aurelio, Amparo, Isabel, Merche, Santi y en general a todo el personal del IVIA por su hospitalidad y amabilidad.

A Jesús Val, M^a Angeles Gracia y Azahara Díaz (Aula Dei, Zaragoza) por darme la oportunidad de conocer el campo de la investigación agrícola y por enseñarme a combinar el trabajo de campo con el de laboratorio.

A mi familia y a mis amigos por escucharme, aconsejarme paciencia y apoyarme siempre. A Vicen por su ayuda en el análisis estadístico de los datos.

Resumen

El riego y el manejo del dosel vegetal son dos de las prácticas de cultivo más comúnmente empleadas en viticultura para controlar la producción y mejorar la composición de la uva. Con el objetivo de estudiar los efectos del riego deficitario controlado y del deshojado temprano sobre los parámetros agronómicos y de composición de la uva, se llevaron a cabo dos ensayos de 2007 a 2009 y de 2008 a 2010 respectivamente, en una viñedo comercial plantado con la variedad Tempranillo en Requena (Valencia). El ensayo de riego consistió en 4 tratamientos: Secano, déficit pre-envero (DefPreEnv), déficit post-envero (DefPostEnv) y riego máximo (Rmax). En este último tratamiento, el riego se aplicó a fin de cubrir el 75% de las necesidades hídricas durante toda la temporada. Los resultados obtenidos han puesto de manifiesto que el aporte adicional del agua de riego permitió aumentar la producción en todos los tratamientos de riego con respecto al secano. Sin embargo, solamente las estrategias de riego DefPreEnv y Rmax conllevaron un aumento en la concentración de los sólidos solubles totales de las bayas con respecto al secano. El tratamiento DefPreEnv dio lugar a bayas más pequeñas y con mayor concentración de antocianos que las bayas procedentes de cepas regadas durante toda la temporada y que las del DefPostEnv. Se concluye por lo tanto que la estrategia de riego con déficit en pre-envero es la más recomendable para mejorar la composición de la uva. Por otra parte, el ensayo de deshojado temprano, llevado a cabo alrededor de floración, constaba de 4 tratamientos: Testigo sin

deshojar, DAF2C o deshojado antes de floración llevado a cabo en ambas caras de la espaldera, DDF2C o deshojado después de floración en ambas caras y DAF1C o deshojado antes de floración de las hojas situadas en la cara este de la espaldera. Los tratamientos de deshojado en ambas caras fueron efectivos a fin de reducir la producción y la compacidad del racimo y dieron lugar a bayas con mayor concentración de sólidos solubles totales y antocianos que las del testigo sin deshojar. En particular el tratamiento de deshojado DDF2C dio lugar a las bayas más pequeñas y con mayor concentración de compuestos fenólicos aunque también con una menor concentración de ácido málico. En general, las prácticas de cultivo estudiadas constituyen un método eficaz para el control de la producción así como para la mejora de la composición de la uva, aunque la respuesta puede variar en función de la intensidad y del periodo fenológico en que se realicen.

Summary

Irrigation and canopy management are two of the cultural practices most commonly used in viticulture to control vine crop level and to improve grape composition. In order to study the effects of deficit irrigation and early leaf removal on vine performance and grape composition, two field trials were carried out from 2007 to 2009 and from 2008 to 2010 respectively, on a vineyard planted with Tempranillo in Requena (Valencia). The irrigation trial consisted of four irrigation treatments: Rain-fed (Secano), pre-veraison deficit (DefPreEnv) post-veraison deficit (DefPostEnv) and maximum irrigation (Rmax) covering 75% of water needs throughout the season. The additional supply of irrigation water resulted in yield increase in all irrigation treatments with respect to the rain-fed one. However, only the DefPreEnv and Rmax irrigation strategies allowed increasing berry total soluble solids concentration. The DefPreEnv treatment led to smaller berries with the highest concentration of anthocyanins than berries from irrigated vines throughout the season and from the DefPostEnv. It is therefore concluded that deficit irrigation strategy in pre-veraison is recommended for improving the grape composition. On the other hand, the defoliation trial consisted of 4 treatments with leaf pulling carried out early in the seasons around flowering. Control (Testigo), un-defoliated vines were compared with vines that were defoliated just before anthesis (DAF2C) or after flowering (DDF2C). A last defoliation treatment was applied where leaf pulling was done before anthesis but removing leaves from the east side of the canopy (DAF1C). The more intense

defoliation treatments were effective in reducing vine yield and cluster compactness. In addition berries from the defoliation treatments carried out in both canopy sides had higher concentration of total soluble solids and anthocyanins than the control berries. In particular the DDF2C was the more effective treatment in term of improvements in grape composition. In general both the cultural practices studied can be considered as effective tools to control vine yield and to improve grape composition, although the response may vary depending on the intensity and phenological period when they are performed.

Resum

El reg i el maneig del dosel vegetal són dos de les pràctiques de cultiu més comunament emprades en viticultura per a controlar la producció i millorar la composició del raïm. Amb l'objectiu d'estudiar els efectes del reg deficitari controlat i del deshojado primerenc sobre els paràmetres agronòmics i de composició del raïm, es van dur a terme dos assajos de 2007 a 2009 i 2008 a 2010 respectivament, en una parcel·la plantada amb Tempranillo a Requena (València). L'assaig de reg va consistir en 4 tractaments: Secà (Secano), dèficit pre-envero (DefPreEnv), dèficit post-envero (DefPostEnv) i reg màxim (Rmax) que cobria al 75% de les necessitats hídriques durant tota la temporada. L'aportació addicional de l'aigua de reg va permetre augmentar la producció en tots els tractaments de reg pel que fa al secà. No obstant açò solament les estratègies de reg DefPreEnv i Rmax van comportar un augment en la concentració dels sòlids solubles totals de les bayas. El tractament DefPreEnv va donar lloc a bayas més xicotetes i amb major concentració de antocianos que les bayas procedents de ceps regats durant tota la temporada i que les del DefPostEnv. Es conclou per tant que l'estratègia de reg amb dèficit en pre-envero és la més recomanable per a millorar la composició del raïm. D'altra banda, l'assaig de deshojado primerenc, dut a terme al voltant de floració, constava de 4 tractaments: Testimoni sense deshojar, DAF2C o deshojado abans de floració dut a terme en ambdues cares de l'espallera, DDF2C o deshojado després de floració en ambdues cares i DAF1C o deshojado abans de floració de les fulles situades en la cara

aquest de l'espatlera. Els tractaments de deshojado en ambdues cares van ser efectius a fi de reduir la producció i la compacitat del racimo i van donar lloc a bayas amb major concentració de sòlids solubles totals i antocianos que les del testimoni sense deshojar. En particular el tractament de deshojado DDF2C va donar lloc a les bayas més xicotetes i amb menor concentració d'àcid málico de tots. En general, les pràctiques de cultiu estudiades constitueixen un mètode eficaç per al control de la producció així com per a la millora de la qualitat del raïm, encara que la resposta pot variar en funció de la intensitat i del període fenològic en què es realitzi.

Sumario

Sumario.....	11
I. INTRODUCCIÓN GENERAL	13
I.1. Cultivo de la vid.....	13
I.2. El manejo del riego.....	14
I.3. Manejo del dosel vegetal	16
I.4. Calidad de la uva	18
II. RIEGO DEFICITARIO CONTROLADO. ESTRÉS HÍDRICO PRE- ENVERO VERSUS POST-ENVERO.	21
II.1. Introducción	21
II.1.a. Efectos del riego deficitario controlado sobre el crecimiento vegetativo y reproductivo.	21
II.1.b. Efectos del riego deficitario controlado sobre la composición de la uva.	23
II.2. Material y métodos	26
II.2.a. Parcela experimental	26
II.2.b. Diseño experimental y tratamientos de riego.	29
II.2.c. Potencial hídrico.	30
II.2.d. Fertilidad, floración y cuajado.	31
II.2.e. Área foliar y peso de poda.	32
II.2.f. Producción en vendimia.	32
II.2.g. Calidad de la uva.	33
II.2.h. Análisis estadístico.	35
II.3. Resultados	36
II.3.a. Evapotranspiración y riego aplicado.	36
II.3.b. Potencial hídrico y precipitaciones.....	37
II.3.c. Fertilidad, floración y cuajado.....	40
II.3.d. Área foliar y peso de poda.	42
II.3.e. Parámetros de cosecha	43
II.3.f. Composición de la uva.	47
II.4. Discusión.....	51
III. DESHOJADO TEMPRANO EN LA VID.	58
III.1. Introducción	58
III.1.a. Efectos del deshojado temprano sobre la respuesta agronómica.	58
III.1.b. Efectos del deshojado temprano sobre la calidad de la uva.	59

III.2. Material y métodos	61
<i>III.2.a. Diseño experimental y tratamientos de deshojado.</i>	61
<i>III.2.b. Metodología.</i>	62
III.3. Resultados	63
<i>III.3.a. Determinaciones de crecimiento vegetativo</i>	63
<i>III.3.b. Fertilidad, floración y cuajado.</i>	65
<i>III.3.c. Parámetros de cosecha.</i>	67
<i>III.3.d. Composición de la uva.</i>	68
III.4. Discusión.....	71
IV. CONCLUSIONES	75
V. BIBLIOGRAFÍA	77

I. INTRODUCCIÓN GENERAL

I.1. Cultivo de la vid

La vid (*Vitis* spp.) es una planta perenne, leñosa, trepadora, de la familia de las vitáceas, cuyo fruto es de tipo baya agrupado en racimos. Es originaria de Asia y se cultiva en todas las regiones templadas del mundo.

España es el país con mayor superficie dedicada al cultivo de la vid del mundo con un total de 1.109.409 hectáreas (MARM 2010). Sin embargo, la producción de uva en España es menor que la de otros importantes países productores como Francia e Italia.

En la zona de Utiel-Requena, la vid ocupa unas 40.000 ha, la gran mayoría en secano, con el único aporte hídrico de la lluvia, a menudo inferior a 450 mm al año, por lo que la producción se ve en muchos casos limitada, por el estrés hídrico severo que pueden llegar a padecer las cepas.

La variedad Tempranillo es el cultivar más extendido en España para la elaboración de vinos tintos. Es originario del norte de España y es la variedad mayoritariamente cultivada en las denominaciones de Origen (DO) Rioja y Ribera del Duero. Se considera un cultivar bastante sensible al déficit hídrico (Esteban et al. 1999, Girona et al. 2009). A pesar de todo ello, a finales de los años 90, la variedad Tempranillo se

ha extendido en zonas más cálidas y áridas del sur de la península donde, en líneas generales, suele dar lugar a uvas con una suficiente concentración de azúcar pero baja acidez (Salón et al. 2004). Esto constituye un inconveniente para la estabilidad del mosto y del vino, que aunque se puede y suele corregir mediante acidificación en la vinificación, representa un coste añadido para el productor.

1.2. El manejo del riego

El agua es el factor más limitante de la producción en la agricultura Mediterránea debido a que la lluvia es escasa y se distribuye irregularmente tanto a lo largo del año como interanualmente. Cuando la limitación en la disponibilidad de agua en el suelo es suficientemente acusada, la planta puede llegar a sufrir niveles moderados o fuertes de estrés hídrico lo que puede llegar a afectar a casi todas las funciones vegetales, incluyendo la producción y la calidad final del fruto (Hardie y Considine 1976). La reciente generalización del riego en la vid en países con veranos secos ha conducido a cierta controversia, dado que existe una amplia creencia, en muchos casos no del todo avalada por estudios científicos, que el riego en la vid para vinificación puede afectar negativamente a la calidad de la uva y consiguientemente a la calidad final del vino.

En cualquier caso es cierto que en particular en climas semi-áridos, como es el de la zona de Utiel-Requena, la aplicación del riego suele conllevar un aumento de la cosecha (Salón et al. 2004). Sin embargo,

la magnitud de este efecto puede depender del periodo fenológico en que se riegue, de la cantidad de agua aplicada, la variedad, las condiciones ambientales y otras prácticas de cultivo asociadas a la aportación del riego (Matthews et al. 1987, Medrano et al. 2003).

Por el contrario, el riego aplicado a fin de cubrir la totalidad de las necesidades hídricas de la vid durante toda la temporada, suele afectar negativamente a la composición de la uva, principalmente debido a pérdidas de color, efectos de dilución de los azúcares de la baya y desequilibrios en la acidez (Williams y Matthews 1990). Así pues, si bien es cierto que el riego es una práctica cada vez más extendida a fin de producir cosechas económicamente rentables, no se ha definido con precisión cual es el estado hídrico del suelo o de la planta necesario en determinados climas y suelos para optimizar la composición final de la uva a fin de poder elaborar vinos de alta calidad. Esto se debe principalmente tanto a la dificultad en cuantificar adecuadamente el estado hídrico de la planta como a la subjetividad en la percepción de la calidad del vino.

Para determinar la influencia de los factores ambientales y las condiciones de cultivo sobre el estado hídrico de la vid, se necesita la monitorización de un indicador fisiológico sensible que integre el efecto de las condiciones climáticas y de la humedad en el suelo disponible para la planta. El riego debería ser aplicado sólo cuando estos parámetros caen por debajo de un cierto valor umbral. La cámara de presión (Scholander et al. 1965) es el método más comúnmente

utilizado para determinar el estado hídrico de la vid en campo. En este sentido, el potencial hídrico foliar ha sido propuesto como un parámetro indicativo en programas de riego deficitario en vid (Girona et al. 2006).

Existen diferentes medidas del potencial hídrico foliar, e.g. potencial de hoja antes del amanecer, al mediodía, y potencial del tallo. El potencial del tallo se determina en hojas embolsadas para anular la transpiración de las hojas reduciendo así la variabilidad de las medidas. Sin embargo, no existe acuerdo total respecto a cual de las diferentes medidas de potencial hídrico es la más aconsejable. Así, en Francia, Carbonneau (1998) y Deloire et al. (2004) proponen el potencial hídrico antes del amanecer como un criterio para evaluar el estado hídrico de las cepas en diferentes fases fenológicas. Sin embargo, en regiones más calurosas, el potencial hídrico medido al mediodía o a media mañana parece ser más adecuado que el potencial medido antes del amanecer (Intrigliolo et al. 2005, Salón et al. 2005, Williams y Trout 2005).

I.3. Manejo del dosel vegetal

La mejora en las prácticas de cultivo como el riego, el manejo del suelo, la fertilización y el control de plagas y enfermedades lleva asociado un aumento del vigor vegetativo de las cepas y con frecuencia también de la producción final, lo que puede repercutir negativamente sobre la composición de la uva. Esto puede ser debido

a un desequilibrio en las relaciones fuente: sumidero de la cepa debido a una incapacidad de la cepa de sustentar toda la producción, pero también a una alteración del micro-clima del racimo por el mayor crecimiento vegetativo que puede conducir a un descenso en el contenido de azúcares y antocianos (Morrison y Noble 1990) en los racimos sombreados y a un retraso en el comienzo de la maduración, causado por la combinación de menor temperatura de la baya (Smart 1985), y una menor intensidad lumínica en las hojas fuente (Kliewer y Lider 1968).

Existen distintos métodos para el manejo del dosel vegetal, tales como la variación en el número de brotes, la regulación de yemas en la poda, o la adopción de sistemas de conducción que puedan conseguir una óptima exposición de los racimos a la luz (Smart 1985).

Otra práctica de cultivo frecuentemente empleada es la del deshojado de la zona fructífera. Dicha técnica normalmente se realiza entre cuajado y envero en vides con alta densidad de vegetación para mejorar la exposición de los frutos a la radiación solar y a la circulación de aire, con beneficios substanciales en términos de pigmentación y tolerancia a las enfermedades (Arnold y Bledsoe 1990, Tardaguila et al. 2008).

El deshojado temprano, llevado a cabo alrededor de floración, es una práctica reciente, ensayada con éxito en la variedad Sangiovese en Italia (Poni et al. 2006) que persigue una mejora en la calidad del fruto

gracias a un control de la cosecha final y de la compacidad del racimo (Tardaguila et al. 2010). Las recomendaciones para un deshojado antes de floración son específicas para situaciones objetivas de alta producción y racimos grandes con un alto grado de compactación, y por lo tanto, con mayor susceptibilidad a enfermedades (Poni et al. 2009).

I.4. Calidad de la uva

La calidad de la uva y del vino es un concepto complejo que puede ser definido y cuantificado de diferentes maneras. En viticultura el término se ha utilizado para referirse a menudo a las concentraciones de azúcares y ácidos de la uva, algunas veces al color (Freeman y Kliewer 1983) y más recientemente a los polifenoles (Kennedy et al. 2002, Medrano et al. 2003).

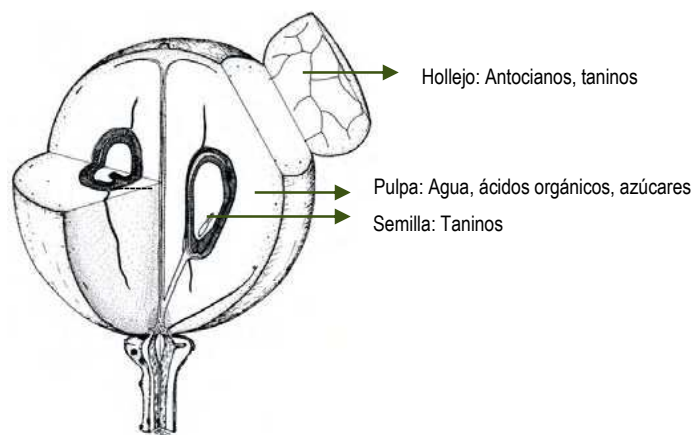


Figura 1. Esquema de la anatomía de una baya incluyendo los distintos componentes químicos de la uva. Adaptada a partir de Coombe et al., (1987).

Los sólidos solubles totales (SST) del mosto, normalmente expresados en °Brix, son la medida más común de la madurez de la baya. La concentración de azúcares en uva determina el contenido final de alcohol en el vino y su influencia en el sabor.

Tanto la acidez total como el pH son de gran importancia para la estabilidad del mosto y la crianza de los vinos y por ello son también parámetros comúnmente usados como indicadores de la calidad de la uva. Esto se debe a que la concentración de ácidos orgánicos no sólo contribuye al sabor ácido del mosto, sino que también influye en el consiguiente color del vino y en la estabilidad microbiana (Boulton 1980). En este sentido cabe destacar que los vinos con un pH más elevado son más susceptibles al crecimiento de organismos perjudiciales.

La acidez en la baya está fundamentalmente determinada por las cantidades relativas de ácido málico y tartárico y por la proporción de las sales de tartrato (Iland y Coombe 1988). Estos dos ácidos tienen propiedades y patrones de acumulación y degradación bastante diferentes; el tartárico es un ácido más fuerte y estable, mientras que el málico es más débil y se degrada con relativa facilidad, siendo la temperatura el principal factor ambiental que afecta a su evolución y concentración en bayas maduras. Así pues, diversos autores (McCarthy 1997, Romero et al. 1993) indican que la disminución de ácido málico es la principal causa de descenso en la acidez de los mostos. Por otra parte, el ácido tartárico tiene un metabolismo distinto

al del málico y es difícil de metabolizar dada su resistencia a la combustión a altas temperaturas y a ser propenso a formar sales que no son fácilmente degradadas por ninguna enzima conocida (Iland y Coombe 1988).

Otros componentes importantes en la calidad de la uva son los polifenoles, de los cuales dependen el color y la astringencia de los vinos y se encuentran en su mayoría en el hollejo de la baya (Fig. 1). Normalmente existen tres clases de polifenoles en uvas y vinos: los antocianos, los flavonoles, y los taninos. Los antocianos son responsables del color de las bayas y de los vinos tintos. Los flavonoles, aunque carecen de color, también contribuyen al color del vino como copigmentos de los antocianos. Los taninos incluyen un amplio rango de compuestos polifenólicos que varían desde pequeñas formas oligoméricas hasta grandes polímeros de proantocianidina, también conocidos como taninos condensados. En los vinos, los taninos son compuestos importantes de su calidad final, ya que los flavonoles y las proantocianidinas contribuyen al cuerpo y al impacto gustativo. Los taninos también contribuyen a la estabilidad del color de los vinos tintos mediante la formación de complejos poliméricos de larga vida con los antocianos.

II. RIEGO DEFICITARIO CONTROLADO. ESTRÉS HÍDRICO PRE-ENVERO VERSUS POST-ENVERO.

II.1. Introducción

II1.a. Efectos del riego deficitario controlado sobre el crecimiento vegetativo y reproductivo.

Tradicionalmente en climas mediterráneos la práctica de riego suele conllevar la aplicación de las necesidades completas de riego en la primera fase de desarrollo del fruto y cierto déficit hídrico durante las fases finales de maduración de la baya (Williams y Matthews 1990). Sin embargo, también es posible otra aproximación, más empleada en la viticultura australiana, en la que se aplica menos agua a principio de la estación y se incrementa la dosis de riego durante las últimas fases de crecimiento y maduración de la baya, es decir tras el envero (McCarthy 1997).

La mayoría de los estudios realizados han indicado que el déficit hídrico afecta al crecimiento vegetativo en mayor grado que al del fruto (Williams y Matthews 1990, Williams et al. 1994). El estrés hídrico antes de envero, durante el desarrollo del dosel vegetal, puede tener como efecto indirecto un quemado de las bayas por el sol, particularmente en regiones cálidas (Bergqvist et al. 2001). Una vez que la cepa ha desarrollado suficiente área foliar, un déficit hídrico moderado puede ser impuesto de tal modo que las hojas existentes permanezcan funcionales mientras que la tasa de crecimiento

vegetativo de nuevas hojas puede ser reducida (Williams 1996, Williams et al. 1994). Después del envero, también puede resultar interesante imponer un cierto estrés hídrico moderado para evitar prolongar el crecimiento vegetativo que podría llegar a competir por los asimilados con el fruto.

En general, la cosecha desciende conforme lo hace la disponibilidad de agua, aunque la respuesta varía en función de la dosis de riego, las condiciones climáticas y el periodo de aplicación. Además, la naturaleza perenne de la vid, hace que el efecto de un estrés hídrico en una estación pueda tener influencia en la siguiente estación. Así pues, Buttrose (1974) indica que la fructificación de las yemas de vid puede ser deprimida por el estrés hídrico padecido por las cepas. Por el contrario, también existe evidencia que el número de yemas reproductivas puede reducirse como consecuencia de la aplicación del riego (Carbonneau y Casteran 1979). Así pues, el efecto final del déficit hídrico sobre la fertilidad de las yemas puede depender del grado de estrés alcanzado por las cepas.

El grado en el que el crecimiento de la baya se ve afectado por el estrés hídrico depende del momento en que se imponga el estrés hídrico y de la severidad de este estrés. En particular, el crecimiento de la baya es más susceptible a la falta de agua en el suelo durante su primera fase de desarrollo (McCarthy et al. 2000). El estrés hídrico durante el periodo de cuajado a envero reduce considerablemente el tamaño de la baya (McCarthy 1997) debido a los efectos negativos del

déficit hídrico sobre el crecimiento temprano del fruto (Ojeda et al. 2002) que no pueden ser recuperados incluso si el aporte de agua vuelve posteriormente a una dosis completa (Poni et al. 1994). Por otra parte, las restricciones hídricas al final del ciclo de crecimiento de la baya, es decir tras el envero, reducen el alargamiento de las células del fruto y la acumulación de agua (Smart y Coombe 1983) y normalmente tiene un menor impacto sobre el tamaño final de la baya que el déficit hídrico a principio de estación (McCarthy 1997).

II.1.b. Efectos del riego deficitario controlado sobre la composición de la uva.

El objetivo del riego deficitario es no sólo aumentar la cosecha sino también mejorar la calidad de la uva. El tamaño de la baya es considerado un parámetro de calidad en la producción de vinos, en particular de vinos tintos (Williams y Matthews 1990). Las bayas pequeñas tienen una mayor superficie en relación al volumen que las más grandes, lo cual puede permitir una mayor extracción de antocianos y otros compuestos fenólicos del hollejo, dado que en bayas pequeñas existe una mayor proporción de solvente (pulpa) a soluto (metabolitos secundarios del hollejo).

Sin embargo, estudios recientes han demostrado que la relación entre el tamaño de la baya, y la composición de la misma y del vino es fuertemente dependiente de la práctica de cultivo que afecte al tamaño de la baya (Castellarin et al. 2007, Holt et al. 2008).

En la mayoría de experimentos sobre riego en vid, la reducción en el peso de la baya causado por el estrés hídrico adelantó la maduración, medida como la relación entre los azúcares y los ácidos. Sin embargo, también existen casos (Hardie y Considine 1976, Intrigliolo et al. 2008), en que un estrés hídrico severo retrasó la maduración.

Los efectos de varios regímenes hídricos sobre el estado hídrico de la vid son variables, y las consecuencias en la acumulación de azúcar pueden ser positivas, negativas o nulas. Williams y Matthews (1990) y Rühl y Alleweldt (1985) mostraron que la fase de desarrollo de la baya durante la que se aplica el riego también ejerce una influencia considerable sobre la calidad del fruto. Estos autores encontraron que el contenido de azúcar aumentó cuando el riego se aplicó durante la fase de maduración, mientras que el riego en las primeras fases de desarrollo de la baya dio lugar a un descenso en la concentración de azúcar. Por el contrario, otros autores concluyeron que el déficit hídrico post-envero no tuvo efecto sobre el contenido de sólidos solubles en el mosto (Salón et al. 2005, Girona et al. 2006).

En general, la acidez total aumenta en condiciones de cultivo de la vid bajo regadío, debido principalmente al incremento en la concentración de ácido málico (Esteban et al. 1999). El efecto del estrés hídrico durante el primer periodo de desarrollo de la baya sobre la acidez ha sido ampliamente documentado (Girona et al. 2009, Intrigliolo y Castel 2010), y normalmente se observa un descenso que es resultado de la suma de una síntesis reducida de ácido málico (Van Zyl 1985, Salón et

al. 2005) y de mayores tasas de respiración, provocadas por la mayor temperatura alcanzada en la zona de los racimos de las vides estresadas (Van Zyl 1985). Esta reducción es mayor cuando el déficit hídrico ocurre antes de enero que en post-enero (Reynolds et al. 2007).

La aplicación del riego puede además alterar el balance entre el ácido málico y el tartárico, aumentando el primero y descendiendo el último. Dado que el ácido málico es más débil que el tartárico, el efecto global del riego sobre el pH del vino puede resultar en un incremento del mismo (Freeman y Kliewer 1983, Intrigliolo y Castel 2008), aunque también hay casos en los que el pH no varía por efecto de la aplicación del riego (Valdés et al. 2009).

El estado hídrico de la vid afecta a la acumulación de los polifenoles (Matthews y Anderson 1988, Kennedy et al. 2002) y la regulación del estado hídrico de la vid se considera una herramienta para incrementar el contenido de polifenoles y mejorar la calidad en uvas tintas (Matthews et al. 1990, Kennedy et al. 2002). Matthews y Anderson (1989) mostraron que la concentración de polifenoles en la uva y el vino resultante aumentaban más cuando el déficit hídrico se imponían antes del enero. Por el contrario, Ojeda et al. (2002) encontraron una mayor biosíntesis de polifenoles en el déficit hídrico severo después del enero que en el pre-enero. La variación en el aumento de polifenoles también depende del tipo de molécula que se estudie. Por ejemplo, Roby et al. (2004) concluyeron que el estrés hídrico puede

causar un aumento significativo en los antocianos sin afectar a los taninos del hollejo.

Con todo ello, los objetivos de este ensayo han sido estudiar los efectos sobre la respuesta agronómica y la calidad de la uva de dos estrategias de riego deficitario, una con estrés de primavera y otra en post-envero, comparándolas frente a un riego máximo regado al 75% de las necesidades durante toda la temporada y frente a un secano. El objetivo final es proporcionar a los viticultores información sobre los volúmenes de riego más adecuados a aplicar en cada periodo fenológico, en función de los niveles de cosecha y los estilos de vino deseados.

II.2. Material y métodos

II.2.a. Parcela experimental

El experimento se realizó durante tres temporadas consecutivas (2007-2009) en un viñedo de 'Tempranillo' (*Vitis vinifera* L.) localizado en Requena (39°29'N, 1°13'W, 750 m altitud), Valencia.



Vista de la parcela experimental 'El Cerrito' en el término municipal de Requena.

El viñedo se plantó en 1991 sobre patrón 161-49 al marco de 2.45m x 2.45 m (1666 vides por hectárea). A comienzos del año 2000 la plantación se reconvirtió de secano a regadío y de vaso a espaldera vertical de tres hilos con orientación de las filas norte-sur. Todos los tratamientos fueron fertilizados con una proporción de 30-20-60-16 kg ha⁻¹ año⁻¹ de N, P₂O₅, K₂O y MgO, respectivamente.

Las prácticas de poda (10-12 pulgares por cepa, 2 yemas por pulgar), aclareo de brotes (2 pámpanos por pulgar) y despuntado se realizaron de igual forma para todos los tratamientos durante todos los años del ensayo.

El suelo es de textura arcillosa a arcillosa-ligera, altamente calcáreo y de baja fertilidad (0.66% de materia orgánica, y 0.04% de nitrógeno). El suelo tiene un perfil profundo (>2m), la capacidad de agua disponible es de 180 mm m⁻¹ y la densidad aparente del suelo es de 1.43-1.55 t m⁻³.

En esta zona de cultivo la brotación de la variedad Tempranillo normalmente ocurre a mediados de Abril, la floración a finales de Mayo, el envero se alcanza a principios de Agosto, la cosecha a mediados de Septiembre y la caída de hojas a principios de Noviembre. El clima es continental y semiárido con una lluvia media anual de 430 mm. El 65% de la precipitación anual ocurre durante el periodo de dormancia de las cepas.

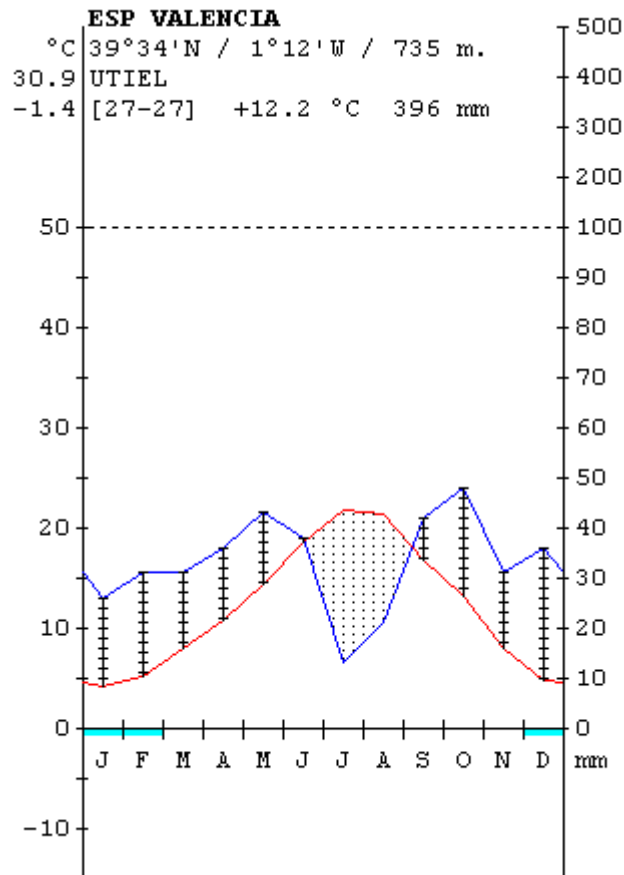


Diagrama climático de Utiel.. Sistema de clasificación bioclimática mundial. Fuente: www.ucm.es

Las condiciones climáticas durante el experimento (Tabla 1) se midieron en una estación meteorológica ubicada en la parcela y la evapotranspiración de referencia (ET_o) se calculó con frecuencia horaria mediante la fórmula de Penman-Monteith (Allen et al. 1998).

La dosis de riego se estimó a partir de la evapotranspiración del cultivo (ET_c) que se calculó como el producto de la ET_o por el coeficiente de cultivo (K_c). Los valores de K_c empleados se basan en resultados

obtenidos en ensayos previos de riego en el mismo viñedo (Salón et al. 2004) y en un viñedo cercano plantado con la variedad Bobal (Salón et al. 2005). El K_c utilizado varió con el periodo fenológico y con el patrón de desarrollo del área foliar desde 0.17 en mayo a 0.35 en pleno verano. Dado el vigor vegetativo y el área foliar desarrollada por las cepas del ensayo, los valores de K_c empleados corresponden aproximadamente a un 75% de la ET_c potencial según Williams y Ayars (2005).

II.2.b. Diseño experimental y tratamientos de riego.

Los tratamientos de riego estudiados fueron:

- Secano, sin aporte de riego.
- DefPreEnv: Déficit de primavera. Se inició el riego cuando se superó un valor de potencial del tallo a mediodía (tallo) de -1.0 MPa. Después se regó sin limitaciones importantes hasta vendimia ($ET_c=0.3-0.4 ET_o$).
- Control (R_{max}): Riego máximo. Sin limitación importante de agua de tamaño guisante a vendimia ($ET_c=0.3-0.4 ET_o$). El riego se inició cuando se alcanzó un potencial del tallo a mediodía de -0.7 MPa.
- DefPostEnv: Déficit post-envero. Se regó igual que R_{max} , sin limitación importante de agua, hasta el envero de las bayas ($ET_c=0.3-0.4 ET_o$) y con reducción de un 50-75% respecto a aquel de envero a maduración, hasta alcanzar valores de tallo de -1.3MPa. Después se intentó mantener este valor hasta

vendimia, aumentando o disminuyendo la dosis de riego, según fue la tendencia observada.

Cada cepa se regó por goteo con dos emisores autocompensantes de 2.4 l/h situados a unos 60 cm a cada lado del tronco. El agua de riego, procedente del pozo de la finca, es de buena calidad ($EC_{25^\circ} 0.8 \text{ dSm}^{-1}$). El agua aplicada en el riego se midió mediante contadores volumétricos individuales en cada parcela elemental.

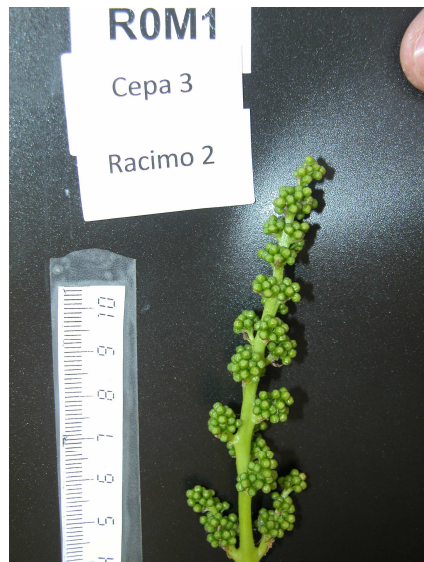
El diseño estadístico fue de bloques completos al azar y 3 repeticiones de 90 cepas (10x9) por parcela elemental con una fila de guarda en toda la periferia, siendo las 56 cepas centrales por parcela elemental sobre las que se basan los resultados de producción y calidad.

II.2.c. Potencial hídrico.

El estado hídrico de las plantas se determinó utilizando una cámara de presión (Scholander et al. 1965) a intervalos aproximados de 7 días desde Mayo a Octubre. Se eligió un día de medición concreto en la semana, que fuera representativo del intervalo entre riegos para esa semana. Las mediciones se realizaron a mediodía (11:30 a 12:30 horas solares) en hojas embolsadas (potencial del tallo). En cada medida se tomaron 8 hojas adultas y sanas (2 hojas por 4 cepas) por parcela experimental en dos bloques por tratamiento. Se utilizaron las hojas de la cara oeste que fueron embolsadas con bolsas de aluminio y cierre hermético al menos una hora antes de la determinación.

II.2.d. Fertilidad, floración y cuajado.

La floración se estimó siguiendo el método fotográfico descrito por Poni et al. (2006). Se seleccionaron cuatro racimos por cepa en tres cepas por cada unidad experimental en los tratamientos de secano, DefPreEnv y Rmax. En ellos se tomó una fotografía perpendicular sobre fondo negro en la fase fenológica de botón floral cerrado.



Fotografía de una inflorescencia para conteo indirecto del número de flores.

Cada año la relación entre el número de flores real y el estimado en la fotografía se estableció por conteo manual en una muestra de 30 racimos de diferentes tamaños obteniéndose relaciones lineales, en general con valores altos del coeficiente de determinación ($r^2=0.95$).

Una semana antes de vendimia se recolectaron dichos racimos seleccionados y en ellos se contó manualmente el número de bayas mediante desgranado para determinar el porcentaje de cuajado. Estos

racimos también fueron pesados individualmente para calcular el peso medio de la baya y la proporción de peso del raspón.

II.2.e. Área foliar y peso de poda.

El área foliar se determinó hacia el envero sobre la base de relaciones alométricas entre la longitud total (principal+secundarios) del pámpano y el área foliar total del mismo según métodos similares a los descritos por Mabrouk y Carbonneau (1996). Para ello, en un total de cuatro cepas seleccionadas por cada tratamiento, localizadas en la parcela, se determinó la longitud total (principal+secundarios) de todos los sarmientos que se convirtió a área foliar utilizando una relación empírica entre ambas variables obtenida en una muestra de 20 sarmientos seleccionados sobre cepas borde de la misma parcela. Dichas relaciones alométricas se obtuvieron en cada año de estudio con en general valores altos del coeficiente de determinación ($r^2 > 0.93$).

Después de la caída de la hoja se determinó el peso de poda individualmente en cada una de las cepas seleccionadas anteriormente para la determinación del área foliar.

II.2.f. Producción en vendimia.

La vendimia se determinó cuando los tratamientos alcanzaron los 22°Brix.

La producción se calculó en vendimia en cada una de las 56 cepas de cada parcela experimental. En estas vides se determinó también el número de racimos por cepa y por cociente el peso medio del racimo.

Para determinar la evolución en el peso de la baya se tomaron alrededor de 300 bayas por parcela experimental (en escadas de 3 o 4 bayas) cada 15 días desde la fase de tamaño guisante hasta vendimia. La recolección de bayas se realizó en las 56 cepas de cada tratamiento, tomando cada escada de diferentes racimos y alternando tanto la posición dentro del racimo como la orientación este-oeste de las cepas con el fin de alcanzar la máxima homogeneidad posible. Posteriormente las bayas se conservaron en nevera para su transporte al laboratorio.

II.2.g. Calidad de la uva.

La concentración de azúcares y ácidos en los mostos se determinó en 3 muestras independientes, de aproximadamente 75 bayas, por tratamiento de riego. Las uvas se trituraron con Thermomix (Fuerza 6, 30 segundos, sin trituración de pepitas), se filtraron y en el mosto se determinaron el porcentaje de sólidos solubles (°Brix) con refractómetro digital (Atago), el pH con pHmetro, la acidez total por valoración con NaOH 0,1N (a pH=8.2) y el contenido en ácido málico y tartárico mediante métodos enzimáticos y colorimétricos respectivamente (multianalizador Systema Easychem).

La concentración de polifenoles totales, antocianos y taninos en uva se determinó en otras muestras de alrededor de 75 bayas por parcela elemental. Las bayas se trituraron con Ultraturrax (Fuerza 3, 1 minuto, con trituración completa de pepitas). Se tomó un gramo de la pasta homogénea al que se le añadieron 10 ml de EtOH al 50%.

Las muestras se agitaron durante una hora (Falcon, Fuerza 5), posteriormente se centrifugaron durante 10 minutos a 6000 rpm (Centromix) y tras trasvasar el sobrenadante, se congelaron a -20°C hasta su posterior análisis. La concentración de los polifenoles totales, antocianos y taninos en las uvas se midió siguiendo los métodos descritos por Iland et al. (2004) y Sarneckis et al. (2006).

Para el análisis de polifenoles y antocianos totales se tomaron 0.2 ml de muestra y se añadieron 3.8 ml de HCl 1M. Tras agitar las muestras por inversión se dejaron en reposo durante tres horas y se midió la absorbancia a 280nm y 520nm por espectrofotometría (Perkin Elmer). El cálculo de los antocianos se basa en el uso del coeficiente de extinción molar de la malvidina-3-glucósido y el resultado se expresa en mg/g de malvidina. El cálculo de los polifenoles totales se realizó con una recta de calibrado de ácido gálico (cedida por el grupo GIENOL, E. Valdés INTAEX, comunicación personal) y se expresaron en mg/g de ácido gálico.

Para analizar la concentración de taninos se tomó 1 ml de muestra, se le añadieron 3 ml de metilcelulosa (0.04%p/v) y tras agitar y dejar reposar 2-3 minutos, se añadieron 2 ml de solución saturada de sulfato

amónico y 4 ml de agua destilada hasta llegar a un volumen de 10ml. Se dejaron reposar las muestras 10 minutos y se centrifugaron a 10.000 rpm durante 5 minutos (Hermle). Posteriormente se midió la absorbancia a 280 nm frente a unas muestras control sin metilcelulosa. El resultado se expresa en mg/g de catequina con una recta de calibrado según la propuesta por el grupo de investigación en enología (GIENOL, E. Valdés INTAEX comunicación personal).

Para todas las determinaciones de calidad de uva se realizaron al menos dos análisis por temporada, una semana antes de vendimia y en vendimia. Dado que en la mayoría de los parámetros de calidad evaluados el efecto del tratamiento de riego fue similar en las dos fechas de muestreo (interacción tratamiento*fecha muestreo, no significativa a $P < 0.05$) los resultados que se muestran son el promedio de ambos análisis.

II.2.h. Análisis estadístico.

El análisis de la varianza se realizó utilizando los paquetes Rcmdr, multcomp y gmodels del programa estadístico R (www.r-project.org). Las diferencias entre tratamientos se realizaron mediante el test de Dunnett frente a las vides no regadas y mediante contrastes de medias entre pares de tratamientos regados. En el conjunto de los años, se analizaron los datos teniendo en cuenta la interacción entre los tratamientos de riego y el año. En los casos en que la interacción riego por año fue significativa no se muestran los datos promedio de los tres

años, ya que las diferencias entre años fueron superiores a las debidas al riego.

También se realizaron regresiones lineales simples entre los datos de floración y cuajado para observar su grado de relación.

Los gráficos se realizaron con la ayuda de los programas Sigmaplot 10.0 y Excel.

II.3. Resultados

II.3.a. Evapotranspiración y riego aplicado.

Las condiciones climáticas variaron entre los distintos años de estudio (Tabla 1). Así la ETo en el año 2008 fue menor que en el resto de años, y la vendimia se retrasó 9 días con respecto a 2007 y 26 días con respecto a 2009. En el mes de Agosto, se observa un aumento en la ETo con los años, siendo el máximo de 5.1 mm día^{-1} en el año 2009 (Tabla 1).

La cantidad de agua aplicada varió entre los distintos tratamientos de riego (Tabla 2). El tratamiento de déficit antes de envero (DefPreEnv) recibió un promedio de 89 mm por año, el de déficit tras envero (DefPostEnv) 115 mm, y el de riego máximo (Control) 151 mm. La cantidad de riego aplicada aumentó con los años en todos los tratamientos de riego (Tabla 2).

	ETo media (mm.día-1)						ETo acumulada (mm totales)
	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Abr-Sep
2007	2.7	4.7	5.2	5.9	4.6	3.1	801.6
2008	3.5	3.1	4.4	5.2	4.8	3	729.4
2009	3.2	4.7	5.4	5.8	5.1	3	829.9

	Riego (mm)					
	DefPreEnv		DefPostEnv		Control	
	PreEnv	PostEnv	PreEnv	PostEnv	PreEnv	PostEnv
2007	13	54	65	33	66	53
2008	37	54	87	26	90	56
2009	0	97	77	53	81	96

Tablas 1 y 2. Media mensual de la evapotranspiración de referencia diaria (ETo), ETo acumulada (sumatorio de la ETo diaria entre abril y septiembre) y riego aplicado en cada año (2007-2009). Fenología: Brotación 2007: 23-Abril; 2008: 4-Abril; 2009: 6-Abril; Envero 2007: 31-Julio; 2008: 15-Agosto; 2009: 29-Julio; Vendimia 2007: 27-Septiembre; 2008: 6-October; 2009: 10-Septiembre.

La distribución del riego aplicado también fue diferente en los distintos periodos fenológicos. Antes de envero, las cepas de DefPreEnv recibieron para el promedio de los tres años solo 17 mm de agua de riego, las cepas de DefPostEnv 76 mm y las de Rmax (Control) 79 mm. Para el promedio de los tres años, en el periodo entre envero y vendimia, el tratamiento DefPreEnv recibió 68 mm de promedio, el DefPostEnv 37 mm y el Rmax 68 mm.

II.3.b. Potencial hídrico y precipitaciones.

Las lluvias caídas no evitaron que las cepas del secano sufrieran un estrés hídrico elevado en el periodo de maduración (Tabla 3) en todos los años de estudio. En el año 2008, las lluvias fueron muy elevadas a principio de la estación, y en 2009, las lluvias fueron escasas entre envero y vendimia.

		Potencial del tallo a mediodía (MPa)				Lluvia (mm)
		Secano	DefPreEnv	DefPostEnv	Control	
2007	Brotación-Envero	-0.6	-0.6	-0.5	-0.6	35
	Envero-Vendimia	-1.3	-1.3	-1.3	-1.3	68
2008	Brotación-Envero	-0.8	-0.9	-0.8	-0.8	253
	Envero-Vendimia	-1.3	-1	-1.1	-1	76
2009	Brotación-Envero	-0.9	-0.8	-0.7	-0.7	45
	Envero-Vendimia	-1.3	-0.8	-1.1	-0.8	4

Tabla 3. Valores medio para cada periodo del potencial hídrico de los distintos tratamientos de riego. Se muestran también las precipitaciones de los tres años de estudio

En la figura 2 se muestra también la evolución temporal del potencial hídrico de tallo de las cepas que osciló todos los años de ensayo entre -0.5 MPa a inicios de temporada y -1.3 MPa en el periodo de maduración. Durante el año 2007, las cepas de todos los tratamientos sufrieron un estrés hídrico elevado, como indica el hecho que los valores de potencial del tallo fueron inferiores a -1.2 MPa desde mediados de Julio hasta vendimia. En 2008 y 2009, durante el periodo pre-envero, las cepas del tratamiento DefPreEnv tuvieron un potencial aproximado de -0.85 MPa y las de DefPostEnv y Rmax de -0.75 MPa. En estos dos años, durante el periodo post-envero, las cepas del tratamiento DefPostEnv tuvieron un promedio de potencial de -1.1 MPa, y las de DefPreEnv y Rmax (Control) de -0.9 MPa (Figura 2 y Tabla 3). En el año 2009 se observaron las mayores diferencias entre DefPreEnv y DefPostEnv en el periodo entre envero y vendimia.

En todos los años hubo un cierto retraso (15-20 días) desde el comienzo del riego en el tratamiento DefPreEnv hasta que este mismo tratamiento alcanzó valores de Ψ_{tallo} similares al los del Rmax (Figura 2). Sin embargo el tratamiento DefPostEnv empezó a mostrar

diferencias en el Ψ tallo con respecto al R_{\max} tras sólo 1-2 semanas desde el comienzo de las restricciones.

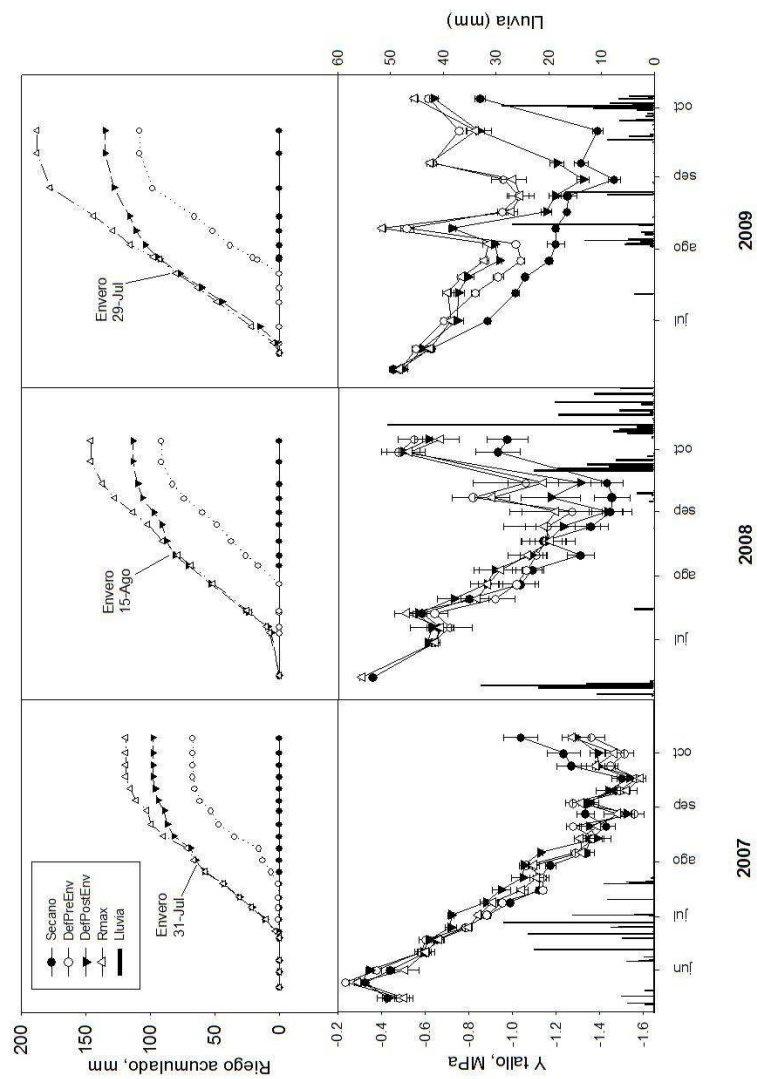


Figura 2. Evolución del riego acumulado y del potencial hídrico a lo largo de la estación, años 2007 a 2009. Los valores mostrados son la media de determinaciones semanales a lo largo de la estación de crecimiento. Las barras de error muestran el error estándar. Se muestra también la precipitación diaria ocurrida como barras verticales.

II.3.c. Fertilidad, floración y cuajado.

El número de racimos por cepa fue superior en las cepas regadas con respecto al secano en 2007 y 2008. Sin embargo, no hubo diferencias

en esta variable entre los distintos tratamientos de riego en ninguno de los años (Tabla 4).

		Secano	DefPreEnv	DefPostEnv	Control
Nº racimos/cepa	2007	22b	27a	26a	25a
	2008	18b	23a	23a	23a
	2009	23a	22a	23a	23a
	Promedio	*	*	*	*
Nº flores/racimo	2007	261a	241a	—	311a
	2008	360a	392a	—	451a
	2009	316b	353ab	—	392b
	Promedio	313b	326b	—	387a
Nº bayas/racimo	2007	143a	136a	—	143a
	2008	167a	177a	—	192a
	2009	191b	232a	—	211ab
	Promedio	168a	181a	—	183a
Cuajado (%)	2007	57a	61a	—	55a
	2008	48a	46a	—	46a
	2009	65ab	72b	—	58a
	Promedio	57ab	59b	—	53a

Tabla 4. Número de racimos por cepa en vendimia, número de flores por racimo, número de bayas por racimo y porcentaje de cuajado (número de flores/número de bayas) en los años 2007 a 2009. Dentro de cada año valores seguidos de letras distintas difieren significativamente a $P < 0.05$. Para aquellas variables en las que no se muestra el valor promedio de los tres años, la interacción tratamiento de riego*año era estadísticamente significativa a $P < 0.05$.

En el promedio de los tres años, el tratamiento de riego máximo tuvo mayor número de flores que el seco y que el déficit pre-verano (Tabla 4).

En cuanto al número de bayas por racimo, aunque en el año 2009 el seco tuvo un menor número de bayas que el tratamiento DefPreEnv, en el conjunto de los tres años no se observaron diferencias estadísticamente significativas para esta variable.

El porcentaje de cuajado fue superior en el tratamiento de déficit antes de verano que en el tratamiento de riego máximo en el promedio de los

tres años. En definitiva, el tratamiento con mayor número de flores fue el que menor porcentaje de cuajado tuvo (Tabla 4 y Fig.3). Así pues incluyendo en el análisis los resultados de todos los tratamientos y años se encontró una relación lineal altamente significativa entre el porcentaje de cuajado y el número de flores iniciales (Fig. 3). Cuanto mayor era el número de flores de partida de los racimos, menor fue el porcentaje de cuajado.

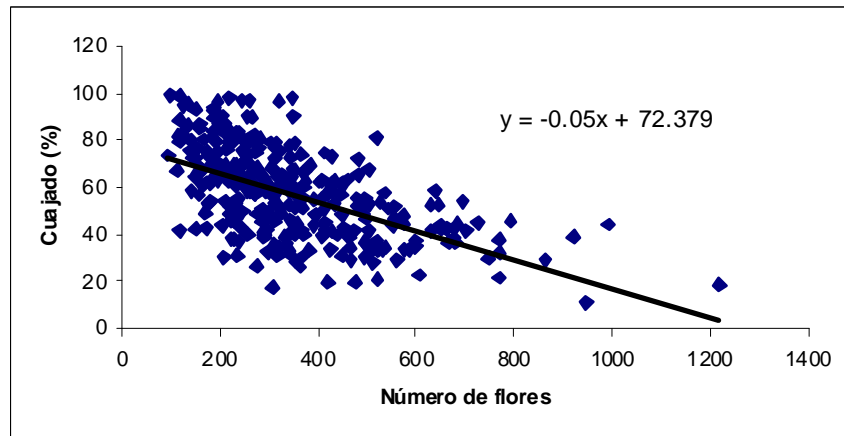


Figura 3. Relación entre el número de flores y el porcentaje de cuajado. Los datos corresponden a valores de cada racimo para todos los tratamientos y años. $r^2 = 0.32$; $p < 0.001$

II.3.d. Área foliar y peso de poda.

El área foliar desarrollada por las cepas fue superior en los tratamientos de riego con respecto al secano todos los años, así como en el promedio de los tres años. Sin embargo, no se observaron diferencias en el área foliar entre los distintos tratamientos de riego, a

excepción de 2009 donde fue sorprendentemente menor en Rmax que en DefPreEnv y DefPostEnv (Tabla 5).

El peso de la madera de poda fue superior en los tratamientos de riego que en el secano en los años 2007, 2009 y en el promedio de los tres años. No hubo diferencias entre los distintos tratamientos de riego (Tabla 5).

		Secano	DefPreEnv	DefPostEnv	Control
Área foliar (m ² /cepa)	2007	5.3b	6.6a	7.2a	6.4ab
	2008	5.9b	7.5a	6.9ab	7.6a
	2009	4.6c	6.7a	6.4a	5.8b
	Promedio	5.3b	6.9a	6.9a	6.6a
Peso poda (kg/cepa)	2007	0.90b	1.27a	1.42a	1.20a
	2008	1.35a	1.57a	1.53a	1.70a
	2009	0.87b	1.43a	1.39a	1.39a
	Promedio	1.04b	1.42a	1.45a	1.43a

Tabla 5. Parámetros de crecimiento vegetativo (área foliar y peso de poda) en los distintos tratamientos durante los años 2007 a 2009. Dentro de cada año, valores seguidos de letra distinta difieren significativamente a $P < 0.05$.

II.3.e. Parámetros de cosecha

La producción fue entre un 56 y un 58% mayor en todos los tratamientos de riego con respecto al secano los tres años de ensayo (Tabla 6). Además, el año 2007 la producción fue inferior en Rmax (Control) que en DefPostEnv y en 2009 fue superior en Rmax que en DefPreEnv. En general para los tres años de estudio la producción máxima en todos los tratamientos incluido el secano ocurrió en el año 2009.

Dicho incremento de la producción observado en los tratamientos de riego se debió tanto a un mayor peso del racimo (Tabla 6) como a una mayor fertilidad de las yemas en términos de racimos por cepa como fue comentado anteriormente (Tabla 4).

En cuanto a las diferencias entre los tratamientos de riego, en 2007, el peso medio del racimo fue mayor en DefPostEnv que en DefPreEnv, y en 2009 fue mayor en Rmax que en DefPostEnv (Tabla 6).

En vendimia, el peso de la baya fue menor en el tratamiento de secano todos los años de estudio (Tabla 6). Con respecto al secano, en el promedio de los tres años, el peso de la baya aumentó un 23% en DefPreEnv, un 38% en Rmax y un 35% en DefPostEnv. En el promedio de los tres años, el tratamiento DefPreEnv tuvo un menor peso de baya que Rmax y DefPostEnv. Sin embargo, en ninguno de los tres años de estudio, ni para el promedio de las tres campañas, el déficit hídrico aplicado en post-envero llegó a reducir el peso de la baya en comparación al Control Rmax.

		Secano	DefPreEnv	DefPostEnv	Control
Producción (kg/cepa)	2007	4.6c	7.2ab	7.4a	6.8b
	2008	4.6b	7.1a	7.0a	7.1a
	2009	5.8c	8.9b	9.2ab	9.8a
	Promedio	*	*	*	*
Peso racimo (g)	2007	211.0c	268.1b	286.4a	274.6ab
	2008	252.3b	312.1a	305.8a	312.9a
	2009	248.8c	399.1ab	396.6b	416.2a
	Promedio	*	*	*	*
Peso baya (g)	2007	1.44c	1.72b	1.95a	1.99a
	2008	2.03c	2.29b	2.45ab	2.54a
	2009	1.55b	2.15a	2.35a	2.36a
	Promedio	1.67c	2.05b	2.25a	2.30a

Tabla 6. Variables de producción (kg/cepa), peso del racimo y de la baya en vendimia, en los distintos tratamientos durante los años 2007 a 2009. Dentro de cada año valores seguidos de letra distinta difieren significativamente a $P < 0.05$. Para aquellas variables en las que no se muestra el valor promedio de los tres años, la interacción tratamiento de riego*año era estadísticamente significativa a $P < 0.05$.

La evolución estacional del crecimiento de la baya confirma los resultados obtenidos en vendimia mostrando en particular en los años 2007 y 2009 que en el tratamiento DefPreEnv, el estrés hídrico moderado al cual fue sometido dicho tratamiento durante el periodo entre cuajado y envero redujo el crecimiento de la baya que no fue capaz de recuperar el crecimiento perdido durante la etapa posterior de post-envero en el que el tratamiento DefPreEnv se regaba igual el tratamiento Rmax. También se observa claramente en la figura 4 que el déficit hídrico post-envero no afectó al crecimiento de la baya. Cabe finalmente destacar que el estrés hídrico padecido por los distintos tratamientos con déficit de riego no afectaron a la curva de crecimiento doble-sigmoide característica de las bayas de *Vitis vinifera* (Figura 4).

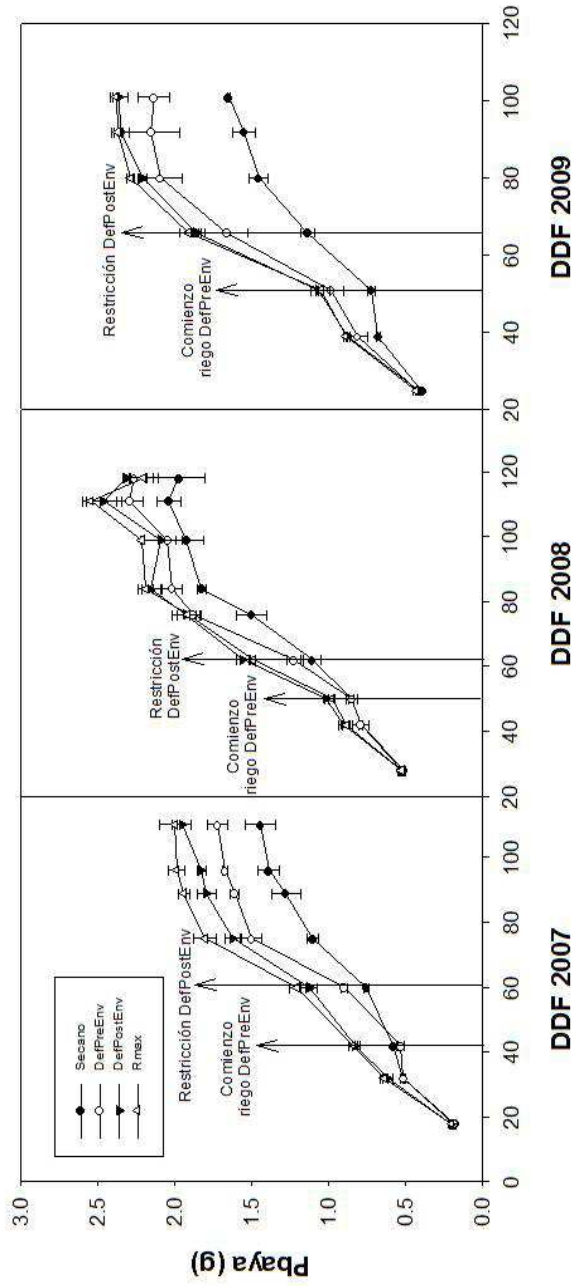


Figura 4. Evolución estacional del peso de la baya, años 2007 a 2009. Los datos mostrados son la media de tres muestreos independientes por tratamiento. Las barras de error indican el error estándar. DDF, días después de floración.

II.3.f. Composición de la uva.

La concentración de sólidos solubles totales de las bayas fue similar en todos los tratamientos en 2008 y 2009, aunque en 2007 y en el promedio de los tres años, fue superior en los tratamientos de déficit antes de envero y riego máximo (Control) con respecto al secano y al déficit post-envero (Tabla 7).

Para el promedio de los tres años, solamente el tratamiento DefPreEnv afectó a la acidez total del mosto que fue inferior en este tratamiento que en el resto de tratamientos (Tabla 7).

A pesar de ello, para el conjunto de los tres años de estudio, el índice de madurez de las uvas obtenido como ratio entre los sólidos solubles totales y la acidez de las uvas fue superior en el tratamiento DefPreEnv que en el resto de los tratamientos ensayados.

El pH del mosto fue superior en los tratamientos de riego que en el secano en 2007 y 2009, y además en 2009 fue superior en DefPostEnv que en DefPreEnv (Tabla 7).

La concentración de ácido málico fue superior en todos los tratamientos de riego todos los años de ensayo. En 2008 y 2009 además fue menor en DefPreEnv que en Rmax y DefPostEnv. La concentración de ácido tartárico fue menos acusada por el régimen de

riego que la del ácido málico. En los dos primeros años de estudio se observó una disminución del ácido tartárico tanto con respecto al Secano como al tratamiento más regado Control (Tabla 7).

La relación tartárico a málico fue superior en los tratamientos de riego todos los años de estudio y en 2007 y 2009 fue superior en DefPreEnv que en el tratamiento control Rmax (Tabla 7).

		Secano	DefPreEnv	DefPostEnv	Control
SST (°Brix)	2007	21.3a	22.3a	21.3a	22.1a
	2008	21.2c	22.5a	21.6bc	22.3ab
	2009	22.0a	22.7a	22.0a	22.3a
	Promedio	21.5b	22.5a	21.6b	22.2a
Ac.Total (g/l TH ₂)	2007	4.93c	4.30b	4.53ab	4.57a
	2008	4.67ab	4.45b	4.86a	4.88a
	2009	4.81a	4.43a	4.67a	4.72a
	Promedio	4.80a	4.39b	4.69a	4.72a
I. Madurez	2007	4.3b	5.1a	4.6ab	4.8ab
	2008	4.5b	5.0a	4.4b	4.5b
	2009	4.7a	5.2a	4.7a	4.7a
	Promedio	4.5b	5.1a	4.6b	4.7b
pH	2007	3.59b	3.78a	3.69a	3.70a
	2008	3.68b	3.72ab	3.73ab	3.75a
	2009	3.53c	3.71b	3.82a	3.75b
	Promedio	*	*	*	*
Ac.Málico(g/l)	2007	2.62c	3.48b	4.25a	4.58a
	2008	1.80c	2.13b	2.57a	2.60a
	2009	1.45c	2.41b	3.07a	3.27a
	Promedio	*	*	*	*
Ac.Tartárico(g/l)	2007	6.18c	5.16b	5.43ab	5.51a
	2008	5.54b	5.14c	5.79a	5.59b
	2009	6.21a	6.02a	6.58a	6.14a
	Promedio	*	*	*	*
Tartárico/Málico	2007	2.4a	1.5b	1.3bc	1.2c
	2008	3.1a	2.5b	2.3bc	2.2c
	2009	4.4a	2.5b	2.2b	1.9
	Promedio	*	*	*	*

Tabla 7. Variables de composición tecnológica del mosto en los distintos tratamientos para cada año y para el promedio años 2007 a 2009. Los datos muestran el promedio de dos análisis por año, una semana antes de vendimia y en vendimia. Dentro de cada año, valores seguidos de letra distinta difieren significativamente a $P < 0.05$. Para aquellas variables en las que no se muestra el valor promedio de los tres años, la interacción tratamiento de riego*año era estadísticamente significativa a $P < 0.05$.

La concentración de polifenoles totales (IPT) fue en general mayor en las bayas del secano que en las de las cepas regadas (Tabla 7). Las diferencias entre años fueron superiores a la debida a los tratamientos de riego. El efecto de los distintos tratamiento de riego sobre la concentración de polifenoles totales de las uvas fue distinto entre años. Así pues, en el 2008 la concentración de polifenoles totales fue inferior

en el DefPreEnv que en los Control (Rmax) y DefPostEnv mientras que en 2009 fue mayor en DefPreEnv que en DefPostEnv (Tabla 7).

La concentración de antocianos en 2008 y 2009 fue inferior en los tratamientos de riego que en las cepas no regadas. Además en 2009, en el tratamiento DefPreEnv fue mayor que en el Rmax y en el DefPostEnv. Para el promedio de los tres años, las concentraciones de antocianos de las uvas de los tratamientos Rmax y DefPostEnv fueron menores que las del seco, y las del DefPreEnv. En el tratamiento DefPostEnv, se obtuvieron los valores mínimos de concentración de antocianos, aunque las diferencias con respecto al tratamiento Rmax no llegaron a ser estadísticamente significativas a $P < 0.05$ (Tabla 8).

La concentración de taninos fue similar en todos los tratamientos y años a excepción de 2007 y 2009 en que fue menor en los tratamientos de riego con respecto al seco.

		Secano	DefPreEnv	DefPostEnv	Control
IPT (mg/g)	2007	2.70a	2.23ab	2.07b	2.46ab
	2008	2.94a	2.60b	3.01a	2.87a
	2009	4.43a	3.57b	3.12c	3.30bc
	Promedio	*	*	*	*
Antocianos (mg/g)	2007	1.19a	1.16a	0.84a	1.07a
	2008	1.36a	1.25b	1.18c	1.18c
	2009	1.34a	1.20a	0.94c	1.04c
	Promedio	1.30a	1.20a	0.99c	1.10b
Taninos (mg/g)	2007	5.0a	3.5b	4.4ab	3.6b
	2008	5.0a	4.6a	4.8a	5.2a
	2009	7.3a	5.7b	5.5b	5.7b
	Promedio	*	*	*	*

Tabla 8. Composición fenólica de la baya en los distintos tratamientos durante los años 2007 a 2009. Los datos muestran el promedio de dos análisis por año, una semana antes de vendimia y en vendimia. Dentro de cada variable, valores seguidos de letra distinta difieren significativamente a $P < 0.05$. Para aquellas variables en las que no se muestra el valor promedio de los tres años, la interacción tratamiento de riego*año era estadísticamente significativa a $P < 0.05$.

II.4. Discusión

Los resultados han puesto de manifiesto que el riego es una práctica útil en zonas semiáridas para aumentar la producción. Las cepas no regadas estuvieron sometidas a un estrés hídrico bastante severo (potencial de tallo en ocasiones inferior a -1.3MPa), debido a la alta demanda evaporativa y a la escasez e irregular distribución de las lluvias. Este estrés hídrico padecido por las cepas del secano afectó claramente al crecimiento vegetativo y a la producción de la uva. La composición de la baya también se vio alterada por la aplicación del riego pero las respuestas observados pueden deberse tanto a efectos directos debidos al estrés hídrico padecido, como indirectos debido a

los efectos de la aportación del riego sobre el crecimiento vegetativo, la producción y seguramente también sobre el micro-clima del racimo.

De hecho, la producción fue menor en las cepas no regadas debido tanto a un menor tamaño de baya (-24%), como a un menor número de racimos (-11%) lo que indica que el estrés hídrico severo puede tener un impacto negativo sobre la cosecha del año en curso y la de los años posteriores. Estos resultados confirman las observaciones de Buttrose (1974) quién indicó que la fructificación de las yemas puede ser deprimida por el estrés hídrico severo.

El tamaño de la inflorescencia también puede ser influido por el riego. Así, el número de flores en las cepas con riego durante toda la temporada fue mayor que en el tratamiento de secano y déficit pre-enero, lo que concuerda con los resultados de Matthews y Anderson (1988) obtenidos en la variedad Cabernet franc. Sin embargo, el porcentaje de cuajado disminuyó con el número de flores, indicando un efecto de competencia entre órganos florales dentro del racimo. Presumiblemente este hecho fue la causa de que el número final de bayas por racimo fuera similar en prácticamente todos los tratamientos todos los años de ensayo, indicando un efecto compensatorio.

Los efectos del estrés hídrico sobre la producción se observan además en el crecimiento de la baya. Así las cepas regadas tienen un mayor peso de baya que las no regadas. Por otro lado, las cepas del tratamiento de déficit antes de enero tienen bayas de menor tamaño

que las de riego máximo y déficit tras envero. Así pues, nuestros resultados confirman que el estrés hídrico en la fase pre-envero suele tener influencias más claras sobre el crecimiento de la baya y con efectos irreversibles en su tamaño final (Matthews et al. 1987) mientras que después de envero la baya parece ser más capaz de tolerar mejor la escasez de agua. Este resultado pone pues de manifiesto que a fin de reducir el tamaño de la baya, es más conveniente imponer un cierto estrés hídrico a las cepas antes del envero que después del mismo. Por lo tanto puede afirmarse que, por lo menos en la variedad Tempranillo, la fase herbácea de crecimiento del grano es más sensible al estrés hídrico que el periodo posterior al envero.

Los resultados obtenidos indican también que un estrés hídrico moderado (tallo de -1.0 MPa), como el que ocurrió en el tratamiento de déficit pre-envero, puede aumentar la acumulación de azúcares durante la maduración (Roby et al. 2004), pero si es severo (como fue el caso del secano y del déficit post-envero, tallo de -1.3 y -1.2 MPa, respectivamente) desciende la acumulación de azúcares tal y como observaron Hardie y Considine (1976). Los viticultores a menudo suspenden el riego antes de la cosecha debido a la creencia empírica de que el estrés hídrico antes de vendimia puede acelerar la maduración por aumento del nivel de azúcares. Sin embargo, como muestran nuestros resultados y en consonancia con Al-Hazmi (1996), se observa que el estrés hídrico durante las últimas fases de crecimiento puede reducir la acumulación de azúcares en la baya.

La acidez fue similar en los tratamientos de riego máximo y seco, aunque fue menor en el tratamiento de déficit antes de enero. Esto contradice los resultados de algunos trabajos donde se observaron aumentos claros de la acidez total debido al riego (Esteban et al. 1999, Salón et al. 2005), o ningún efecto significativo (Reynolds et al. 2007) de la disponibilidad de agua sobre la acidez total. La menor acidez total en el tratamiento de déficit pre-enero fue el resultado de una menor concentración de ácido málico y de ácido tartárico. La concentración de ácido málico es normalmente menor en bayas provenientes de vides estresadas debido a su mayor tasa de degradación bajo estrés hídrico (Esteban et al. 1999). El ácido tartárico, a diferencia del málico, normalmente muestra mayores valores en cosecha en Tempranillo con estrés severo (Esteban et al. 1999). Sin embargo, nuestros resultados contradicen esta observación pues solo hubo menor concentración de ácido tartárico en el tratamiento de déficit pre-enero, pero no en el seco que fue claramente el más estresado.

En esta Tesis Doctoral el efecto del riego sobre el pH del mosto fue distinto a lo observado por García- Escudero et al. (1991, 1995) también en la variedad Tempranillo que indica que el pH de mostos procedentes de parcelas regadas de Tempranillo disminuyó con el riego. Sin embargo, en este estudio se observa un aumento del pH en todos los tratamientos de riego con respecto al seco, de forma similar a lo obtenido por Freeman y Kliewer (1983) en el cv. Cariñena. Se puede especular que el incremento observado en el pH de los

mostos procedentes de las cepas regadas pueda deberse a una mayor precipitación de sales de bitartato potásico a consecuencia de una mayor concentración de potasio en los mostos procedentes de cepas regadas.

El estado hídrico de la vid también puede afectar a la tasa de acumulación de los compuestos fenólicos en la baya durante la maduración (Ojeda et al. 2002). Un déficit hídrico moderado generalmente resulta beneficioso para la concentración de polifenoles en uvas y vinos tintos. En nuestro ensayo, en el promedio de los tres años, la concentración de polifenoles fue menor en el tratamiento de déficit post-envero que en el de secano y que en los otros dos tratamientos de riego, lo que indica que la variación en los compuestos de la baya depende no sólo del nivel de déficit hídrico, sino también del periodo fenológico en que aparece dicho déficit.

La concentración de antocianos fue mayor en los tratamientos de secano y déficit antes de envero que en los de riego máximo y déficit después de envero. Este resultado está presumiblemente ligado a la disminución de tamaño de baya observada en los tratamientos de secano y DefPreEnv. Nuestros resultados contradicen aparentemente resultados previos obtenidos por Girona et al. (2009) también en la variedad tempranillo que concluyeron que un estrés hídrico en post-envero es más efectivo a fin de incrementar la concentración de antocianos de las uvas que un estrés hídrico en pre-envero. Sin embargo, en primer lugar hay que tener en cuenta que el estudio de

Girona et al. (2009) fue llevado a cabo en cepas cultivadas en maceta. Por otra parte, los niveles de estrés hídrico a los que se vieron sometidas las cepas fueron distintos en los dos ensayos. Así pues, el nivel de estrés hídrico que padecieron las cepas del tratamiento DefPostEnv fue superior al umbral sugerido por Girona et al. (2009) de -1.12 MPa de potencial hídrico de hoja, correspondiente a un potencial hídrico de tallo de -0.94 MPa si se emplea una relación entre ambos indicadores previamente obtenida en esta misma parcela (Intrigliolo et al. 2005). Así pues, parece ser que el estrés hídrico padecido por las cepas de nuestro tratamiento DefPostEnv fue demasiado severo para poder obtener los beneficios en términos de incremento de la concentración de azúcares y antocianos como obtuvieron Girona y colaboradores. Por otra parte, otro estudio reciente llevado a cabo también con la variedad Tempranillo en Navarra por Santesteban et al. (2011), también pone de manifiesto que, de forma similar al presente trabajo, un estrés hídrico moderado en pre-envero puede resultar efectivo a fin de incrementar la concentración antocianica de las uvas. Santesteban et al. (2011) también pusieron de manifiesto que, en post-envero, también es posible incrementar la concentración de los antocianos mediante un estrés hídrico puntual al principio de la fase de maduración de la uva. Sin embargo, en nuestro tratamiento DefPostEnv el estrés hídrico fue sostenido durante todo el periodo de maduración de la uva hasta la vendimia.

En resumen, entre todos los tratamientos de riego ensayados en esta Tesis Doctoral, el más favorable fue el de déficit pre-envero, ya que

respecto al tratamiento de riego máximo supuso sólo una pequeña reducción (2%) en la producción, pero uvas con una mayor calidad (bayas más pequeñas y mayor concentración de antocianos), habiendo permitido además un ahorro del agua del 41%. Por el contrario, el estrés post-envero no resultó beneficioso pues redujo la acumulación de azúcares, antocianos y retrasó la maduración, utilizando un 23% más de agua que el tratamiento de déficit antes de envero. Además de una posible diferente respuesta al déficit de riego dependiendo del periodo en el que se lleve a cabo, es probable que este resultado también se deba a que el estrés hídrico padecido por las cepas en pre-envero fue moderado gracias a la importante capacidad de retención de agua del suelo de la parcela experimental que permitió un muy gradual desarrollo del estrés hídrico durante la fase pre-envero. Además, es importante destacar que los volúmenes de riego finalmente aplicados en el tratamiento DefPreEnv están en línea con las recomendaciones establecidas por la confederación hidrográfica del Júcar para el riego del viñedo de la zona de estudio a fin de mantener la sostenibilidad a largo plazo de los acuíferos de la zona. El único efecto negativo de la estrategia DefPreEnv sobre la composición de la uva fue la reducción del acidez, que aunque pueda ser corregida durante la elaboración de los vinos esto supone un coste adicional. Próximos ensayos deberían tratar de minimizar este efecto negativo, quizás tratando de imponer un estrés hídrico más moderado aun o bien implementando un distinto plan de abonado a fin de mejorar el balance ácido de las uvas.

III. DESHOJADO TEMPRANO EN LA VID.

III.1. Introducción

III.1.a. Efectos del deshojado temprano sobre la respuesta agronómica.

Tradicionalmente, a fin de mejorar el balance fuente-demanda de las cepas, se suele recurrir al aclareo de racimos. Dicha práctica de cultivo es la más preconizada por diferentes Denominaciones de Origen para regular la producción, aunque no es adoptada por la mayoría de los agricultores, por su elevado costo. Además, algunos resultados previos (Kliewer y Dokoozlian 2005) han demostrado que el aclareo de racimos no siempre permite mejorar claramente la composición de la uva, ya que su efecto puede ser muy variable de año en año en función de la climatología y del nivel de carga de las cepas.

Recientemente Poni et al. (2006) propusieron emplear otra alternativa a fin de reducir la producción denominada hoy día como deshojado temprano. Dicha técnica de cultivo se basa en reducir la capacidad de producir fotoasimilados de las cepas durante la época cercana a floración a fin de reducir la tasa de cuajado de flores o bien el tamaño final del grano reduciendo por lo tanto la producción final. Dicha técnica se basa en que el aporte de fotosintatos en floración es un factor de importancia primordial en el cuajado (Caspari et al. 1998, Coombe 1959). Por lo tanto, el deshojado temprano (dentro de las cuatro semanas tras la floración) normalmente reduce la cosecha y cantidad total de azúcares producidos por la vid (Kliewer y Antcliff 1970, May et al. 1970). El deshojado temprano puede conducir también a un menor

tamaño de la baya. De hecho Coombe (1959) mostró que el deshojado afecta negativamente al crecimiento y al desarrollo de la baya. Además, cuanto más temprana sea la reducción de la superficie asimiladora, mas importante puede ser la reducción de los carbohidratos producidos por la cepa (May et al. 1970, Tardaguila et al. 2010).

Por otra parte, cabe tener en cuenta que el deshojado temprano puede también tener efectos negativos sobre la fertilidad de las cepas al año siguiente. Esto es debido a que los racimos comienzan a desarrollarse durante el comienzo de la floración de la temporada anterior, por lo tanto, un adecuado aporte de asimilados en esa época es esencial para un desarrollo floral máximo. Una reducción en la producción de carbohidratos durante esta época como consecuencia del deshojado puede disminuir el número de inflorescencias, el tamaño del racimo y la cosecha de la vid en la siguiente temporada (Candolfi-Vasconcelos y Koblet 1990). Otros autores sin embargo, no encontraron ningún efecto acumulado del deshojado en la fructificación de las yemas en la siguiente estación (Kliewer y Smart 1989).

III.1.b. Efectos del deshojado temprano sobre la calidad de la uva.

En líneas generales, el deshojado temprano suele producir un incremento de alguno de los principales parámetros de calidad de la uva como los azúcares, antocianos y polifenoles (Poni et al. 2006). Lo que no ha sido dilucidado es si dichos aumentos se deben al efecto directo del deshojado sobre el microclima del racimo o bien a un efecto

indirecto debido a la reducción de la producción que normalmente conlleva la práctica del deshojado temprano. Además también existen estudios que han puesto de manifiesto que el deshojado puede no mejorar la concentración de sólidos solubles del mosto (May et al. 1970, Kliewer y Antcliff 1970).

La acidez total normalmente disminuye con el deshojado (Bledsoe et al. 1988). Un aumento en la exposición de la baya a la luz directa aumenta su temperatura lo que favorece la combustión del ácido málico (Kliewer y Lider 1968). Los efectos del deshojado sobre el pH en cambio no son tan claros, existiendo casos en los que aumenta (Kliewer y Lider 1968), y otros en los que disminuye (Bledsoe et al. 1988, Hunter et al. 1995).

La exposición a la radiación solar también influye en la composición fenólica de la baya y los frutos expuestos son generalmente más ricos en compuestos fenólicos y antocianos en comparación con los frutos sombreados (Intrieri et al. 2008).

El objetivo de esta investigación ha sido estudiar la respuesta del deshojado alrededor de floración sobre la producción y la calidad de la uva del año en curso y sus efectos a medio plazo sobre la fertilidad y la cosecha en vid. La investigación se ha llevado a cabo en la zona vitícola de Utiel-Requena bajo un clima cálido y semi-árido a diferencia de los estudios previos llevados a cabo en zonas más frescas del norte

de Italia (Poni et al. 2006, Intrieri et al. 2008) y España (Tardaguila et al. 2010).

III.2. Material y métodos

III.2.a. Diseño experimental y tratamientos de deshojado.

En un sector de la misma parcela experimental descrita en el apartado II del ensayo de riego se realizó un segundo experimento sobre el deshojado que tuvo lugar durante tres temporadas consecutivas (2008 a 2010). Para ello se seleccionaron completamente al azar 16 cepas por tratamiento. Los tratamientos fueron los siguientes:

- TESTIGO: Sin deshojado.
- DAF2C: Deshojado antes de la floración (fase fenológica H, Baggiolini (1952), botones florales separados). Se eliminaron todas las hojas de los seis primeros nudos, incluyendo las hojas de los brotes secundarios presentes en el momento de realización del deshojado, sin eliminar el ápice de los brotes secundarios.
- DDF2C: Deshojado después de la floración (fase J, Baggiolini (1952), cuajado, ovarios de 2-3 mm de diámetro). Se eliminaron todas las hojas de los seis primeros nudos, también las hojas de los brotes secundarios presentes en el momento de realización del deshojado, sin eliminar el ápice de los brotes secundarios.
- DAF1C: Deshojado antes de floración de la cara este. Se eliminaron sólo las hojas orientadas hacia el este de los ocho

primeros nudos, también las hojas de los brotes laterales presentes en el momento de realización del deshojado, sin eliminar el ápice de los brotes secundarios.

Todos los tratamientos de deshojado se regaron como el Riego máximo descrito anteriormente (Apartado II.2.) aproximadamente al 75% de la ETc durante toda la temporada.

III.2.b. Metodología.

Los métodos utilizados para determinar la respuesta agronómica y la calidad de la uva en este ensayo fueron los mismos a los descritos en Material y Métodos del ensayo sobre riego (Apartado II.2.) con algunas especificidades.

En el caso del crecimiento vegetativo se cuantificó además el área foliar eliminada mediante medida directa sobre las hojas eliminadas durante el deshojado. Además, se cuantificó el porcentaje de área foliar eliminada con respecto al área foliar existente en el momento del deshojado. Para ello, se establecieron relaciones alométricas entre la longitud de los sarmientos y el área foliar y se midió la longitud de todos los sarmientos de las cepas experimentales. Por otra parte, a diferencia de lo realizado para el ensayo de riego deficitario no se midió el peso de la madera de poda.

La floración se estimó en cuatro racimos de cada una de las 64 cepas del ensayo.

Los análisis de componentes de la uva se realizaron usando la misma metodología descrita en el capítulo anterior sobre cuatro muestras independientes por cada tratamiento tomando para ello muestras de cuatro cepas diferentes en cada caso.

Las diferencias entre tratamientos se realizaron mediante el test de Dunnet frente a las vides no deshojadas y mediante contrastes de medias entre pares de tratamientos con diferente intensidad y época de deshojado. En el conjunto de los años, se analizaron los datos teniendo en cuenta la interacción entre los tratamientos de deshojado y el año. En los casos en que la interacción deshojado por año fue significativa no se muestran los datos promedio de los tres años, ya que las diferencias entre años fueron superiores a las debidas al deshojado.

III.3. Resultados

III.3.a. Determinaciones de crecimiento vegetativo

En los tratamientos de deshojado, para el promedio de los tres años de estudio, el área foliar eliminada, expresada en porcentaje respecto al área foliar total existente justo antes del deshojado, fue del 84% en el deshojado antes de floración a ambos lados (DAF2C), del 67% en el deshojado en cuajado a ambos lados (DDF2C) y del 56% en el deshojado antes de floración en la cara este (DAF1C) (Tabla 9).

En el segundo año de ensayo, en floración, la longitud de los pámpanos fue ligeramente menor en los tratamientos de deshojado total tanto antes como después de floración (Tabla 9). Sin embargo, para el conjunto de los tres años, no se detectaron diferencias estadísticamente significativas entre tratamientos de deshojado.

En vendimia, en cada uno de los años y en el conjunto de los tres años, no se encontraron diferencias en cuanto a la longitud de los sarmientos principales ni de la suma de los principales y los anticipados o nietos. Cabe de todos modos destacar que, en el último año (2010), la longitud de los brotes laterales fue menor en el tratamiento DAF2C (Tabla 9).

Como era esperable, el área foliar fue claramente menor en los tratamientos de deshojado, siendo dicho efecto más acusado en los dos primeros años de estudio cuando los tratamientos de deshojado más intensos llevados a cabo a ambos lados de la espaldera redujeron el área foliar entre un 45 y un 23% con respecto al tratamiento control.

		TESTIGO	DAF2C	DDF2C	DAF1C
Área foliar eliminada (%)	2008	-	78.6	68.7	56
	2009	-	95	67.6	58.4
	2010	-	77.9	63.8	54.2
	Promedio	-	83.8	66.7	56.2
Long.pámpanos floración (cm)	2008	71.4	66.1	67.6	70.3
	2009	73.3	67.8*	67.6*	70
	2010	52.4	53.3	49	53.6
	Promedio	65.7	62.4	61.4	64.6
Long. sarmiento ppal.vend. (cm)	2008	131.8	149.8	144.8	120.6
	2009	134.9	122.6	127.5	123.9
	2010	137.2	127.5	128.9	135.1
	Promedio	134.6	133.3	133.7	126.6
Long.nietos vend. (cm)	2008	45.8	72.8	76.9	89
	2009	46.1	39.3	51.6	48.5
	2010	17.7	12.8*	16.2*	15.2
	Promedio	36.5	41.6	48.2	50.9
Long.sarmientos total (ppal + nietos) (cm)	2008	177.5	222.5	221.6	209.6
	2009	180.9	161.8	179.1	172.4
	2010	154.9	140.3	145.1	150.2
	Promedio	171.1	174.9	181.9	177.4
Área foliar vendimia (m ² cepa ⁻¹)	2008	7.84	6.06*	4.39*	6.68
	2009	7.7	5.00 ^{x,y}	5.60*	6.30*
	2010	13	11.20*	12.90 ^x	11.6
	Promedio	#	#	#	#

*, x e y indican significación estadística a P<0.05 frente al testigo, en el contraste DAF2C-DDF2C y en el contraste DAF2C-DAF1C, respectivamente.

Tabla 9. Parámetros de crecimiento vegetativo de los distintos tratamientos de deshojado en cada uno de los años de estudio. Para aquellas variables en las que no se muestra el valor promedio de los tres años, la interacción tratamiento de riego*año era estadísticamente significativa a P<0.05.

III.3.b. Fertilidad, floración y cuajado.

En el primer año de ensayo, como era esperable, la fertilidad de las cepas, medida como número de racimos por cepa y como número de flores por racimo, fue similar en todos los tratamientos. Sin embargo, en los dos años posteriores el deshojado afectó negativamente a estos parámetros (Tabla 10). En el 2010 el número de racimos fue menor en los dos tratamientos de deshojado en ambos lados, tanto antes de floración (DAF2C) como después de ella (DDF2C), pero no en el tratamiento DA1F.

Sin embargo, los efectos del deshojado sobre el número de flores fueron menos acusados, siendo solo menor en 2009 y 2010 en el tratamiento DAF2C y no siendo afectado en ningún año en el resto de tratamientos. Cabe destacar que en el promedio de los dos últimos años de estudio, el número de flores del tratamiento DAF2C fue un 20% menor y el número de racimos un 30% menor, que en el tratamiento testigo.

El cuajado y el número de bayas por racimo fueron significativamente menores en los tratamientos de deshojado a ambos lados, tanto antes como después de la floración, solo en el año 2010, pero el efecto de este año se tradujo en diferencias igualmente significativas en el conjunto de los 3 años (Tabla 10).

Cabe finalmente destacar que el deshojado de menor intensidad (DAF1C) no afectó ninguno de los parámetros de fertilidad en ninguno de los años de estudio.

		TESTIGO	DAF2C	DDF2C	DAF1C
Nºracimos/cepa	2008	25	23	23	22
	2009	18	13*	15	14
	2010	26	18*	19*	22
	Promedio	23	18*	19*	19
Nºflores/racimo	2008	379	353	362	400
	2009	307	235*	312 ^x	277
	2010	440	359 ^y	405	468
	Promedio	376	318*	360	383
Nºbayas/racimo	2008	155	140	144	164
	2009	153	131	138	149
	2010	163	105 ^y	125*	156
	Promedio	157	125 ^y	136*	157
Cuajado (%)	2008	42	41.5	42	44.1
	2009	55.9	52.8	48.4	57.6
	2010	53.2	35.3*	38.1*	38.9
	Promedio	50.4	43.2*	42.8*	46.9

* , ^x e ^y indican significación estadística a $P < 0.05$ frente al testigo, en el contraste DAF2C-DDF2C y en el contraste DAF2C-DAF1C, respectivamente.

Tabla 10. Parámetros de fertilidad de las cepas en los distintos años de estudio. Número de racimos, flores, bayas y porcentaje de cuajado.

III.3.c. Parámetros de cosecha

La producción, el peso del racimo y el peso de la baya, fueron reducidos, a diferencia de la fertilidad, desde el primer año en que se deshojaron las cepas (Tabla 11). El peso del racimo fue menor en el DAF2C y DDF2C en los tres años del ensayo, además hubo diferencias en el peso del racimo en función de la intensidad de deshojado.

El peso de la baya fue menor en los tres años de ensayo para DAF2C y DDF2C y en los dos primeros años también en el deshojado en la cara este antes de floración (DAF1C). Además, el peso de la baya fue menor en el DDF2C que en el DAF2C en los tres años de estudio, es decir para el deshojado realizado más tarde (Tabla 11).

La producción fue menor en los dos tratamientos de deshojado a ambos lados en los tres años de estudio y en el deshojado en la cara este antes de floración solo en 2009 (Tabla 11). En el promedio de los tres años, el DAF2C tuvo una producción un 43% menor que el testigo, el DDF2C un 38% y el DAF1C un 19% menor que las cepas sin deshojar.

		TESTIGO	DAF2C	DDF2C	DAF1C
Producción(kg)	2008	6.92	5.37*	5.13*	5.79
	2009	5.77	2.87*	3.15*	4.20*
	2010	7.45	3.19* ^y	3.99*	6.19
	Promedio	#	#	#	#
Peso racimo (g)	2008	314.7	261.9* ^y	255.9*	322.2
	2009	308	257.7*	249.6*	293.3
	2010	316	189.6* ^y	210.7*	293.1
	Promedio	313	235.9* ^y	239.0*	303.6
Peso baya(g)	2008	2.04	1.85*	1.74* ^x	1.90*
	2009	2.04	1.91*	1.77* ^x	1.90*
	2010	1.88	1.72* ^y	1.60* ^x	1.84
	Promedio	1.99	1.83*	1.70* ^x	1.88*

* , x e y indican significación estadística a P<0.05 frente al testigo, en el contraste DAF2C-DDF2C y en el contraste DAF2C-DAF1C, respectivamente.

Tabla 11. Parámetros de producción, medida como kilogramos por cepa, peso del racimo y de la baya, años 2008 a 2010. Para aquellas variables en las que no se muestra el valor promedio de los tres años, la interacción tratamiento de riego*año era estadísticamente significativa a P<0.05.

III.3.d. Composición de la uva.

Los sólidos solubles totales, la acidez total, el contenido en ácido málico y tartárico y el pH del mosto fueron influidos en mayor o menor medida por los tratamientos de deshojado (Tabla 12). La concentración de sólidos solubles totales, medida en grados Brix, fue mayor para el tratamiento DDF2C en 2009 y 2010. Para el promedio de los tres años, tanto la época como la intensidad de deshojado afectaron a la

concentración sólidos solubles totales, así los valores máximos se registraron en el tratamiento DDF2C seguido del DAF2C, y este a su vez mayor que el DAF1C que no difirió del testigo (Tabla 12).

La acidez total y el pH fueron similares para los tratamientos de deshojado todos los años de estudio, a excepción de 2010 donde la acidez total fue menor para DAF2C y DDF2C. En el promedio de los tres años, los tratamientos de deshojado a ambos lados tuvieron menor acidez y el tratamiento de deshojado a ambos lados después de floración tuvo mayor pH (Tabla 12).

El ácido málico fue menor en el deshojado después de floración (DDF2C) en 2008 y en 2010 con respecto al testigo. El ácido tartárico fue superior en los tratamientos DDF2C y DAF1C en el promedio de los tres años. La menor concentración de ácido málico y la mayor de tartárico condujeron a la máxima relación tartárico/málico en el tratamiento de deshojado en cuajado (DDF2C) (Tabla 12).

		TESTIGO	DAF2C	DDF2C	DAF1C
SST (°Brix)	2008	22.5	22.3	23.1 ^x	22.1
	2009	23.9	24.1	25.6 ^{**}	23.8
	2010	22.1	23.5 ^{*y}	23.7 [*]	21.7
	Promedio	22.3	23.3 ^y	24.1 ^{*x}	22.5
Ac.Total(g/ITH ₂)	2008	4.75	4.43	4.25	4.61
	2009	4.3	4.1	4.04	4.2
	2010	5.52	4.70 [*]	4.54 [*]	5.24
	Promedio	4.86	4.41 [*]	4.28 [*]	4.7
I. Madurez	2008	4.9	5.2	5.5	4.9
	2009	5.8	6	6.5	5.8
	2010	4.1	5.1 [*]	5.4 [*]	4.3
	Promedio	4.9	5.5 [*]	5.8 [*]	5
pH	2008	3.71	3.77	3.8	3.76
	2009	3.94	3.94	4.01	4.02
	2010	4.03	4.27	4.31	4.15
	Promedio	3.89	3.99	4.04 [*]	3.98
Ac.Málico(g/l)	2008	2.89	2.30 [*]	1.82 [*]	2.02 [*]
	2009	2.66	2.49	2.46	2.7
	2010	3.48	3.21	2.84 [*]	3.31
	Promedio	#	#	#	#
Ac.Tartárico(g/l)	2008	4.36	4.8	4.93	5.04
	2009	4.79	5.54	6.17 [*]	5.89 [*]
	2010	5.81	6.09 ^{*y}	6.49 ^{*x}	6.46 [*]
	Promedio	4.99	5.48	5.86 [*]	5.79 [*]
Tartárico/Málico	2008	1.52	2.14 [*]	2.77 ^{*x}	2.56 [*]
	2009	1.8	2.24 [*]	2.53 [*]	2.18 [*]
	2010	1.71	1.92	2.31 ^{*x}	1.96 [*]
	Promedio	1.67	2.10 [*]	2.54 ^{*x}	2.23 [*]

* , x e y indican significación estadística a P<0.05 frente al testigo, en el contraste DAF2C-DDF2C y en el contraste DAF2C-DAF1C, respectivamente.

Tabla 12. Concentración de sólidos solubles totales (SST) y parámetros de acidez del mosto, años 2008 a 2010. Para aquellas variables en las que no se muestra el valor promedio de los tres años, la interacción tratamiento de riego*año era estadísticamente significativa a P<0.05.

En cuanto a la concentración de compuestos fenólicos de la baya completa, se observa un claro aumento en la concentración de antocianos y polifenoles totales en los tratamientos de deshojado llevado a cabo a ambos lados de la espaldera, DAF2C y DDF2C, todos los años de estudio; y en los taninos totales en todos los tratamientos de deshojado en los años 2008 y 2009 (Tabla 13). Así mismo la

concentración de antocianos y polifenoles totales aumentó con la intensidad del deshojado, siendo superior en el tratamiento de deshojado total con respecto al deshojado parcial antes de floración todos los años de estudio (Tabla 13).

		TESTIGO	DAF2C	DDF2C	DAF1C
IPT (mg/g)	2008	3.04	3.44*	3.55*	3.19
	2009	3.33	3.81 ^{*y}	3.92*	3.35
	2010	2.72	3.20 ^{*y}	3.45*	2.81
	Promedio	3.03	3.48 ^{*y}	3.64*	3.12
Antocianos (mg/g)	2008	1.3	1.44*	1.50*	1.36
	2009	1.19	1.29 ^y	1.35*	1.18
	2010	1.13	1.42 ^{*y}	1.52*	1.18
	Promedio	1.21	1.38 ^{*y}	1.46*	1.24
Taninos (mg/g)	2008	3.59	4.60*	5.57 ^{**x}	4.72*
	2009	5.34	6.38*	6.95 ^{**x}	6.34*
	2010	3.06	4.35 ^{*y}	3.77	3.24
	Promedio	3.99	5.11*	5.43*	4.77*

*.x e y indican significación estadística a $P < 0.05$ frente al testigo, en el contraste DAF2C-DDF2C y en el contraste DAF2C-DAF1C, respectivamente.

Tabla 13. Concentración de polifenoles, antocianos y taninos totales en baya completa triturada, años 2008 a 2010.

III.4. Discusión

Los estudios previos llevados a cabo sobre el deshojado temprano han sido fundamentalmente llevados a cabo en distintas variedades de zonas vitícolas caracterizadas por climas más lluviosos y climas más fríos que los del ensayos de esta Tesis Doctoral (Poni et al. 2006, 2009, Tardaguila et al. 2010). Únicamente Hunter y colaboradores habían realizado estudios previos sobre el deshojado en distintas variedades de vid en un clima cálido de sur-África aunque el énfasis de sus trabajo no radicaba tanto en estudiar la efectividad de esta técnica

para el control de producción de las cepas (Hunter et al. 1995). Así pues, los resultados aquí mostrados pueden considerarse como la primera muestra de la efectividad de la técnica de cultivo del deshojado temprano para viticultura de zonas cálidas.

En definitiva los deshojados de más intensidad llevados a cabo tanto antes como después de floración fueron particularmente efectivos para reducir la producción final y aumentar la concentración de azúcares y antocianos de las uvas.

Se observa además, que en el deshojado antes de floración hay un mayor efecto acumulativo a lo largo de los años sobre la fertilidad de las cepas y por lo tanto sobre la producción. Este efecto podría deberse a que en la fase de desarrollo floral, la inflorescencia representa sólo un pequeño sumidero para los carbohidratos en relación al crecimiento en extensión rápido de los brotes, por lo que es incapaz de atraer una mayor proporción de carbohidratos disponibles (Hale y Weaver 1962). Por el contrario, Poni et al. (2009), en la cv. Sangiovese, no encontraron un efecto acumulativo del deshojado llevado a cabo en varias campañas en la fructificación de las yemas en la siguiente estación.

Sin embargo, los resultados del primer año de estudio, que reflejan únicamente los efectos a corto plazo del deshojado temprano, ponen de manifiesto un ligero mayor efecto del deshojado más tardío. Esto es a diferencia de lo observado por diversos autores (May et al. 1970,

Tardaguila et al. 2010). Estos ensayos concluyeron que, cuanto antes ocurra la reducción de superficie asimiladora, mayor será la escasez de carbohidratos y más drásticas serán las consecuencias.

El deshojado llevado a ambas caras de la espaldera permitió incrementar la concentración de los sólidos solubles totales de las uvas. De forma similar, May et al. (1970) y Kliewer y Antcliff (1970) encontraron también que en vides parcial o completamente defoliadas, un incremento de azúcares acumulados en el fruto. Además estos estudios evidenciaron que dichos azúcares podrían proceder de un aumento en la fotosíntesis de las hojas remanentes, además de provenir de otras partes de la planta además de las hojas, es decir de las reservas de carbohidratos almacenados en las raíces, brotes y tronco. Hunter et al. (1995) por el contrario observaron ningún efecto debidos al deshojado.

En cuanto al contenido de compuestos fenólicos, los tratamientos de deshojado en ambas caras antes y después de floración tuvieron mayor concentración de polifenoles totales y de antocianos que el tratamiento testigo en los tres años de ensayo. Además, su concentración también aumentó con la intensidad del deshojado antes de floración, esto es hubo mayor concentración con deshojado a ambos lados que con deshojado parcial. La concentración de taninos fue superior en todos los tratamientos de deshojado para el promedio de los tres años. Estos resultados coinciden con los de Intrieri et al. (2008) que observó un aumento en la concentración de polifenoles en

vides deshojadas. Aunque en nuestro ensayo preocupaba que el exceso de radiación pudiera reducir la concentración de antocianos (Bergqvist et al. 2001) para las condiciones semiáridas de Requena, este efecto no se observó. Así pues, el deshojado llevado a cabo exclusivamente en la cara este de la espaldera se realizó con el fin de proteger al racimo de una elevada exposición durante las horas vespertinas de mayor calor. Sin embargo, no se observó ningún resultado ni positivo ni negativo sobre la composición del fruto.

El único e importante aspecto negativo de la aplicación del deshojado sobre la composición de las uvas es la disminución de su acidez y el incremento en el pH. En este sentido Kliewer y Lider (1968) mostraron que los racimos más expuestos a la radiación solar tienen menor concentración de ácido málico que aquellos situados en zonas sombreadas. Según Bledsoe et al. (1988) el descenso en la acidez total debido al deshojado fue principalmente consecuencia de una reducción en la concentración de ácido málico. Mientras que la reducción de ácido málico puede derivar de una mayor exposición del racimo a la luz solar (Kliewer y Smart 1989), y por lo tanto a la mayor temperatura de la baya, el aumento en el ácido tartárico podría explicarse por el trabajo de Kliewer y Schultz (1964) que mostraba una mayor concentración de CO₂ incorporado a ácido tartárico en bayas más expuestas a la luz del sol en comparación con las bayas sombreadas.

La reducción de la acidez de las uvas observada en este ensayo de deshojado es particularmente importante en un clima cálido donde de por sí la variedad Tempranillo en particular adolece de problemas de acidez y pH del mosto. Es cierto que dicho problema puede corregirse a nivel enológico con la adición de ácido tartárico, pero dicha práctica supone un coste añadido. Próximos ensayos deberían estudiar en qué medida puede adelantarse algo la vendimia a fin de obtener uvas con niveles adecuados de azúcares y color y mayor acidez en respuesta al deshojado.

IV. CONCLUSIONES

En el ensayo de riego, el déficit hídrico de primavera fue el que mejores resultados proporcionó, ya que tuvo casi igual producción, bayas más pequeñas e igual o mejor calidad de uva que el riego máximo. Por el contrario, el déficit tras el envero no resultó conveniente pues se paralizó la acumulación de azúcares con el consiguiente retraso de la maduración. Así pues, en las condiciones edafo-climáticas de la zona de Requena, y para la variedad Tempranillo, el aporte del riego debería restringirse al periodo post-envero. Estos resultados contradicen la creencia, aun ampliamente extendida en la viticultura española, de que regar el viñedo durante la fase de maduración puede ser perjudicial para la calidad de la uva.

El único y principal efecto negativo del riego sobre la calidad de la uva fue el aumento del pH del mosto, pues el tratamiento de secano fue el que proporcionó uvas con los mayores niveles de acidez y menor pH, aunque eso sí, con una menor concentración de azúcares y con una producción inferior que los distintos tratamientos de riego.

El exceso de producción puede limitarse con diversas prácticas de cultivo, como el deshojado temprano. El deshojado intenso, tanto antes como después de floración, se ha mostrado como una herramienta eficaz para reducir la producción en el año en curso y en años posteriores, además de mejorar el contenido en sólidos solubles y antocianos. De todas las estrategias ensayadas la más recomendable es la que conlleva la eliminación de todas las hojas de los seis primeros nudos, también las hojas de los brotes secundarios presentes en el momento de realización del deshojado en cuajado. Cabe de todos modos prestar atención a los efectos negativos acumulativos del deshojado llevado a cabo en campañas consecutivas, por lo que su empleo se recomienda sólo en años puntuales y se desaconseja su uso de forma continuada.

En ambos ensayos se observa que sometiendo a las vides a un estrés antes de enero, sea por reducción de la aportación de fotosintatos en el caso del deshojado, sea por reducción de la aportación de agua de riego, se consigue reducir el tamaño de la baya y mejorar la calidad, además de conseguir uvas con una maduración más temprana (medida como la relación entre los azúcares y los ácidos).

V. BIBLIOGRAFÍA

- Al-Hazmi M., 1996. Water use and physiological responses of apple trees and grapevines to water stress and cultural practices. Doctoral Thesis..Cornell University, Geneva, NY.
- Allen R.G., Pereira L.S., Raes D., Smith M., 1998. Crop evapotranspiration. Guidelines for computing crop water requirements. FAO Irrigation and Drainage paper No 56, Rome, Italy.
- Arnold RA and Bledsoe AM., 1990. The effect of various leaf removal treatments on the aroma and flavour of Sauvignon blanc wine. *Am. J. Enol. Vitic.*, 41,74-76.
- Baggiolini M. 1952. Les stades repérés dans le développement annuel de la vigne et leur utilisation pratique. *Rev. Suisse Romande Agric. Vitic. Arboric.* 8,4-6.
- Bergqvist J., Dokoozlian N., Ebisuda N., 2001. Sunlight exposure and temperature effects on berry growth and composition of Cabernet Sauvignon and Grenache in the Central San Joaquín Valley of California. *Am. J. Enol. Vitic.* 52 (1), 1-7.
- Bledsoe A.M., Kliewer W.M., Marois J.J., 1988. Effects of timing and severity of leaf removal on yield and fruit composition of Sauvignon blanc grapevines. *Am. J. Enol. Vitic.* 39 (1): 49-54.
- Boulton R.B., 1980. The relationship between total acidity, titratable acidity and pH in grape tissue. *Vitis* 19: 113-120.
- Buttrose M.S., 1974. Fruitfulness in grapevines: Effects of water stress. *Vitis* 12: 299-305.

- Candolfi-Vasconcelos M.C., and Koblet W., 1990. Yield, fruit quality, bud fertility and starch reserves of the wood as a function of leaf removal in *Vitis vinifera* – Evidence of compensation and stress recovering. *Vitis* 29: 199-221.
- Carbonneau A., Casteran P., 1979. Irrigation depressing effect on floral initiation of Cabernet-Sauvignon grapevines in Bordeaux area. *Am. J. Enol. Vitic.*, 30 (1): 3-7.
- Carbonneau A., Huglin P., 1980. Adaptation of training systems to French regions. *Proc. Grape and Wine Centennial Symposium*, 376-385. A.D Webb, ed. Davis CA.
- Carbonneau A., 1998. Irrigation, vignoble et produits de la vigne. En: *Traité d'irrigation*. Lavoisier, Paris. 257-276.
- Caspari H.W., Lang A., Alspach P., 1998. Effects of girdling and leaf removal on fruit set and vegetative growth in grape. *Am. J. Enol. Vitic.* 49 (4): 359-366.
- Castellarin S.D., Matthews M.A., Di Gaspero G., Gambetta G.A., 2007. Water deficits accelerate ripening and induce changes in gene expression regulating flavonoid biosynthesis in grape berries. *Planta* 227: 101-112.
- Coombe B.G., 1959. Fruit set and development in seeded grape varieties as affected by defoliation, topping, girdling, and other treatments. *Am. J. Enol. Vitic.* 10: 85-100.
- Coombe B.G., Bovio M., Schneider A., 1987. Solute accumulation by grape pericarp cells. *Journal of Experimental Botany*. 196: 1789-1798.

- Deloire A., Carbonneau A., Wang Z., Ojeda H., 2004. Vine and Water, a short review, *J.Int. Sci. Vigne vin*, 38 (1): 1- 13.
- Esteban M.A., Villanueva M.J., Lisarrague J.R., 1999. Effect of irrigation on changes in berry composition of Tempranillo during maturation. Sugars, organic acids, and mineral elements. *Am. J. Enol. Vitic.* 50 (4): 418-434.
- Freeman B.M., Kliewer W.M., 1983. Effect of irrigation, crop level and potassium fertilization on Carignane vines. II. Grape and wine quality. *Am. J. Enol. Vitic.*, 34 (3): 197- 207.
- García-escudero e., santamaría p., lópez r. y Palacios I., 1991. Aplicación de dosis moderadas de agua en el proceso de maduración del cv. "Tempranillo" en Rioja. *Vitivinicultura*, 1991-1: 30-34.
- García-Escudero E., Baigorri J., Lissarrague J.R. y Sotés V., 1995. Influencia del riego sobre la acidez de mostos en cv. "Tempranillo" (*V. Vinifera L.*). *Itea*, 91V (3): 175-185.
- Girona J., Mata M., del Campo J., Arbonés A., Bartra E., Marsal J. 2006. The use of midday leaf water potential for scheduling deficit irrigation in vineyards. *Irrig. Sci.* 24: 115-127.
- Girona J., Marsal J., Mata M., Del Campo J. y Basile B. 2009. Phenological sensitivity of berry growth and composition of Tempranillo grapevines (*Vitis vinifera L.*) to water stress. *Aust. J. Grape Wine Res.* 15: 268-277.
- Hale C.R. and Weaver R.J., 1962. The effect of developmental stage on direction of translocation of photosynthate in *V. vinifera*. *Hilgardia*. 33 (3): 89-131.

- Hardie W.J. and Considine J.A., 1976. Response of grapes to water-deficit stress in particular stages of development. *Am. J. Enol. Vitic.* 27(2): 55- 61.
- Holt H.E., Francis I.L., Field J.M., Herderich J., and Iland P.G., 2008. Relationships between berry size, berry phenolic composition and wine quality scores for Cabernet Sauvignon (*Vitis vinifera* L.) from different pruning treatments and different vintages. *Aust. J. Grape Wine Res.* 14:191-202.
- Hunter J.J., Ruffner H.P., Volschenk C.G., Le Roux D.J.,1995. Partial defoliation of *Vitis vinifera* L. cv. Cabernet Sauvignon/99 Richter: Effect on root growth, canopy efficiency, grape composition, and wine quality. *Am. J. Enol. Vitic.*, 46 (3): 306-314.
- Iland P.G., Coombe B.G., 1988. Malate, tartate, potassium and sodium in flesh and skin of Shiraz grapes during ripening concentration and compartmentation. *Am. J. Enol. Vitic.* 39: 71-76.
- Iland P., Bruer N., Edwards G., Weeks S., Wikes E., 2004. *Chemical Analysis of Grapes and Wine: Techniques and Concepts*; Patrick Iland Wine Promotions, Adelaide, SA, Australia.
- Intrieri C., Filippetti I., Allegro G., Centinari M., Poni S., 2008. Early defoliation (hand vs mechanical) for improved crop control and grape composition in Sangiovese (*Vitis vinifera* L.). *Aust. J. Grape Wine Res* 14:25-32.
- Intrigliolo D.S., Castel J.R., Pérez D., 2005. Water relations of field grown drip irrigated 'Tempranillo' grapevines. *Proc. VIIth IS on Grapevine. Acta Hort.* 689; 317- 324.

- Intrigliolo D.S., Castel J.R., 2008. Effects of irrigation on the performance of grapevine cv. Tempranillo in Requena, Spain. Am. J. Enol. Vitic. 59:30-38.
- Intrigliolo D.S., Castel J.R., 2010. Response of *Vitis vinifera* cv. Tempranillo to timing and amount of irrigation: Water relations, yield and fruit and wine composition. Irrigation Science 28:113-125.
- Kennedy J.A., Matthews M.A., Waterhouse A.L., 2002. Effect of maturity and vine water status on grape skin and wine flavonoids. Am. J. Enol. Vitic. 53 (4): 268-274.
- Kliewer W.M. and Antcliff A.J., 1970. Influence of defoliation, leaf darkening, and cluster shading on the growth and composition of Sultana grapes. Annual Meeting of the American Society of Enologists, San Francisco, California.
- Kliewer W.M. and Dokoozlian N.K., 2005. Leaf area/crop weight ratios of grapevines: Influence on fruit composition and wine quality. Am. J. Enol. Vitic. 56 (2): 170-181.
- Kliewer W.M. and Lider L.A., 1968. Influence of cluster exposure to the sun on the composition of Thompson seedless fruit. Am.J.Enol.Vitic.19: 175-184.
- Kliewer W.M. and Schultz H.B. 1964. Influence of environment on metabolism of organic acids and carbohydrates in *Vitis vinifera* L. Light. Am. J. Enol Vitic. 15: 119-129.
- Kliewer W. M. and Smart R.E., 1989. Canopy manipulation for optimizing vine microclimate, crop yield and composition of

- grapes. In: Manipulation of Fruiting, C.J. Wright (ed): 275-291. Butterworth & Co. Publ., UK.
- Mabrouk H. and Carbonneau A., 1996. A simple method for determination of grapevine *Vitis vinifera* L. leaf area. *Progres Agricole et Viticole* 113: 392-398.
 - MARM 2010. Anuario de estadística agraria.
 - Matthews M.A., Anderson M.M., Schultz H.R., 1987. Phenologic and growth responses to early and late season water deficits in Cabernet franc. *Vitis* 26: 147-160.
 - Matthews M.A. and Anderson M.M., 1988. Fruit ripening in *Vitis vinifera* L.: Responses to seasonal water deficits. *Am. J. Enol. Vitic.* 39 (4): 313-320.
 - Matthews M.A. and Anderson M.M., 1989. Reproductive development in grape (*Vitis vinifera* L.): responses to seasonal water deficits. *Am. J. Enol. Vitic.* 40: 16-26.
 - Matthews M.A., Ishii R., Anderson M.M., Omahony M., 1990. Dependence of wine sensory attributes on vine water status. *J. Sci. Food Agric.* 51: 231-335.
 - May P., Shaulis N.J., Antcliff A.J., 1970. The effect of controlled defoliation in the Sultana vine. *Am. J. Enol. Vitic.* 20: 237-250
 - McCarthy M.G., 1997. The effect of transient water deficit on berry development of cv. Shiraz (*Vitis vinifera* L.). *Aust. J. Grape Wine Res.* 3:102-108.
 - McCarthy M.G., Loveys B.R., Dry P.R. Stoll M., 2000. Regulated deficit irrigation and partial rootzone drying as irrigation

management techniques for grapevines. Deficit irrigation practices. *FAO Water Reports*. 22:79-87.

- Medrano H., Escalona J.M., Cifre J., Bota J., Flexas J., 2003. A ten-year study on the physiology of two Spanish grapevine cultivars under field conditions: effects of water availability from leaf photosynthesis to grape yield and quality. *Func. Plant. Biol.* 30: 607-619.
- Morrison J.C. and Noble A.C., 1990. The effects of leaf and cluster shading on the composition of Cabernet Sauvignon grapes and on fruit and wine sensory properties. *Am. J. Enol. Vitic.* 41:193-200.
- Ojeda H., Andary C., Kraeva E., Carbonneau A., Deloire A., 2002. Influence of pre- and postveraison water deficit on synthesis and concentration of skin phenolic compounds during berry growth of *Vitis vinifera* cv. Shiraz. *Am. J. Enol. Vitic.* 53: 261-267.
- Poni S., Lakso A.N., Turner J.R., Melious R.E., 1994. The effects of pre- and post-veraison water stress on growth and physiology of potted Pinot Noir grapevines at varying crop levels. *Vitis* 32:207-214.
- Poni S., Casalini L., Bernizzoni F., Civardi S., Intrieri C., 2006. Effects of early defoliation on shoot photosynthesis, yield components, and grape composition. *Am. J. Enol. Vitic.* 57: 397-407.
- Poni S., Bernizzoni F., Civardi S., Libelli N., 2009. Effects of pre-bloom leaf removal on growth of berry tissues and must composition in two red *Vitis vinifera* L. cultivars. *Aust. J. Grape Wine Res.* 15: 185-193.

- Reynolds A.G., Lowrey W.D., Tomek L., Hakimi J., de Savigny C., 2007. Influence of irrigation on vine performance, fruit composition, and wine quality of Chardonnay in a Cool, Humid Climate. *Am. J. Enol. Vitic.* 58 (2): 217-228.
- Romero E.G., Muñoz G.S., Ibáñez M.D.C., 1993. Determination of organic acids in grape musts, wines and vinegars by high-performance liquid chromatography. *J Chromatogr* 655: 111-117.
- Roby G., Harbertson J.F., Adams D.A., Matthews M.A., 2004. Berry size and vine water deficits as factors in winegrape composition: Anthocyanins and tannins. *Aust. J. Grape Wine Res.* 10: 100-107.
- Rühl E.H., Alleweldt G., 1985. Investigations into the influence of time of irrigation on yield and quality of grapevines. *Acta Hort* 171: 457-462.
- Salón J.L., Méndez J.V., Chirivella C., Castel J.R., 2004. Response of *Vitis vinifera* cv. 'Bobal' and 'Tempranillo' to deficit irrigation. *Proc. XXVI IHC – Viticulture – Living with Limitations.* *Acta Hort.* 640: 91- 98.
- Salón J.L., Chirivella C., Castel J.R., 2005. Response of cv. Bobal to timing of deficit irrigation in Requena, Spain: Water relations, yield, and wine quality. *Am. J. Enol. Vitic.* 56 (1): 1- 8.
- Santesteban L.G., Miranda C., Royo J.B., 2011. Regulated deficit irrigation effects on growth, yield, grape quality and individual anthocyanin composition in *Vitis vinifera* L. cv.'Tempranillo'. *Agr Wat Manag* 98: 1171-1179.

- Sameckis C.J., Damberg R.G., Jones P., Mercurio M., Herderich M.J., Smith P.A., 2006. Quantification of condensed tannins by precipitation with methyl cellulose: Development and validation of an optimised tool for grape and wine analysis. *Aust. J. Grape Wine Res.* 12: 1–11.
- Scholander P.F., Hammel H.T., Bradstreet E.D., Hemmingsen E.A., 1965. Sap pressure in vascular plants. *Science* 148:339-346.
- Smart R.E., 1985. Principles of grapevine canopy microclimate with implications for yield and quality: A review. *Am. J. Enol. Vitic.* 36: 230-239.
- Smart R.E., Coombe B.G., 1983. Water relations of grapevines. In: Kozlowski TT (ed) *Water deficits and plant growth. Additional woody crop plants. Vol VII.* Academic Press, New York, pp 137-196.
- Tardaguila J, Diago MP, Martínez de toda F., Poni S., Vilanova M., 2008. Effects of timing of leaf removal on yield, berry maturity, wine composition and sensory properties of cv. grenache grown under non irrigated conditions. *J. Int. Sci. Vigne Vin.* 42: 221-229
- Tardaguila J., Martínez de Toda F., Poni S., Diago M. P., 2010. Impact of early leaf removal on yield and fruit and wine composition of *Vitis vinifera* L. Graciano and Carignan. *Am. J. Enol. Vitic.* 61(3): 372-381.
- Valdés E., Moreno D., Gamero E., Uriarte D., Prieto M.H., Manzano R., Picón J., Intrigliolo D., 2009. Effects of cluster and irrigation amount on water relations, growth, yield and fruit and

- wine composition of Tempranillo grapes in Extremadura. *J. Int. Sci. Vigne Vin* 43: 67-76.
- Van Zyl J.L., 1985. Rifverbouning van wingerd. *Wynboer Tegnies* 10: 12-17.
 - Williams L.E., 1996. Grape. In: Photoassimilate distribution in plants and crops. E. Zamski and A. Schaffer (eds); Marcel Dekker, NY, pp. 851-885.
 - Williams L.E., Ayars J.E., 2005. Grapevine water use and the crop coefficient are linear functions of the shaded area measured beneath the canopy. *Agric. For. Meteorol.* 132: 201-211.
 - Williams L.E., Dokoozlian N.K., Wample R., 1994. In: *Handbook of Environmental Physiology of Fruit Crops*. B. Schaffer and P.C Andersen (eds); Vol. I: 85-133.
 - Williams L.E., and Matthews M.A., 1990. Grapevine In: *Irrigation of agricultural crops*. B.A. Stewart and D. Nielsen (eds); *Agronomy Monograph No.30*: 1019-1055.
 - Williams L.E., and Trout T.J., 2005. Relationships among Vine- and Soil-based measures of water status in a Thompson Seedless vineyard in response to high-frequency drip irrigation. *Am. J. Enol. Vitic.* 56 (4): 357-366.
 - Yang Y.S., Hori Y., Ogata R., 1980. Studies on retranslocation of accumulated assimilates in 'Delaware' grapevines. II. Retranslocation of assimilates accumulated during the previous growing season. *Tohoku Journal of Agricultural Research.* 31 (2): 109-119.

