FACTORES FISIOLOGICOS QUE INFLUYEN EN LA CALIDAD DEL VINO

H. Medrano, J. Flexas, J. Bota y J.M. Escalona
Departament de Biologia- IMEDEA. Universitat de les Illes Balears.
Carretera de Valldemossa Km. 7,5. 07122 Palma de Mallorca

RESUMEN

La calidad de los vinos está determinada principalmente por la calidad del fruto. Los parámetros de calidad del fruto suelen presentar los valores más apreciados en condiciones subóptimas. La disponibilidad de agua en el suelo es uno de los factores clave para ajustar, mediante el riego, la producción y calidad del fruto. Se analizan los efectos del riego en la fotosíntesis de la hoja y de la planta entera y su relación con la producción y, dada la fuerte variación interanual, y el efecto varietal, se muestran los efectos del riego moderado en la calidad de la cosecha en dos variedades y en una serie de diez años de experiencias en campo.

Palabras clave: vid, calidad, fotosíntesis, riego.

Introducción: concepto de calidad en los vinos y en las uvas

El concepto de calidad es siempre difícil de precisar en términos científicos y, en general representa más un consenso social que una verdad probada. Además, como todos los consensos, es efímero, influenciable y cambiante, reflejando a menudo nuevos paradigmas científicos y sociales. En el mundo del vino, este concepto se hace más complejo y a menudo recibe influencias notables del mundo económico con grandes cargas de subjetividad. Como científicos, tratamos de reflejar este consenso social en ciertos parámetros discretos, medibles objetivamente en los laboratorios, pero en éste, como en otros productos, la opinión de los paneles de catadores oficiales, aunque más subjetiva, resulta complementaria e insustituible para la valoración final. Si en otros frutos, como p.e. la manzana, conocidos especialistas concluyen que la calidad del fruto es difícil de explicar y efímera (Janick et al. 1996), en el caso del vino, en que la gama de aspectos a valorar abarca los cinco sentidos (Cacho, 2003; Thorngate, 1997; Somers, 1998) con una amplísima gama de matices en color olor y sabor, la expresión de la calidad y su valoración objetiva es "per se" un tema complejo.

El elevado grado de tecnificación de las pautas de elaboración en bodega y el incremento de la capacidad de control de los procesos fermentativos y de envejecimiento ha conducido a que la calidad del vino esté cada vez más determinada por la calidad de la uva. Así, los elementos valorados para decidir el momento óptimo de recolección o la vocación del mosto son un conjunto cada vez más amplio de parámetros que reflejan la calidad y se reflejan también en el precio de la cosecha. Los valores concretos de estos parámetros que confieren la máxima calidad no son fijos y presentan fuertes interdependencias. Así, una grado probable muy alto (14,5) puede ser imprescindible para un vino generoso, bueno para un tinto del Priorato y excesivo para un Rioja. Los valores óptimos de los parámetros de calidad, son función también de la vocación enológica de la cosecha.

Factores que determinan la calidad del fruto

El problema de la calidad del vino se traslada en buena parte a la calidad de la uva. Esta calidad está determinada, a su vez, por muchos factores que influyen y determinan los valores finales de los parámetros que la definen.

En primer lugar el factor genético, la variedad, el pie, e incluso el clon, determinan fuertemente la composición del fruto maduro, y de hecho influyen fuertemente en el precio. Este cultivo, con mayor diversidad genética que otros (unas 10.000 variedades catalogadas) presenta una enorme variabilidad en cuanto a características del fruto e incluso, dentro de las diez variedades más cultivadas, las diferencias son muy notables.

Junto a este factor cabe remarcar las características fisiológicas de la planta y su particular capacidad de adaptación y aclimatación que van a determinar el comportamiento frente a condiciones ambientales muy variadas (este cultivo se mantiene desde climas templados de Centro-Europa a subtropicales) y frente a las condiciones ambientales a lo largo del ciclo biológico de la planta. Esta capacidad de aclimatación a las condiciones ambientales y prácticas agronómicas concretas se refleja en el concepto de "terroir" ampliamente utilizado para expresar la conjunción de expresión varietal en sus condiciones edafo-climáticas peculiares (Carbonneau et al.; 1982). En todos los ambientes, los cuidados agronómicos del cultivo, objeto de amplios estudios desde los textos agronómicos más antiguos (Columela, 46 d C) a la actualidad (Hidalgo, 2003) pueden concretarse en prácticas culturales para optimizar la calidad, y se reflejan notablemente en la cantidad y calidad de la cosecha. Por último, un factor que resulta determinante, a pesar de la optimización de las prácticas culturales es el que se resume en las características ambientales climáticas particulares de cada año, que conllevan fuertes oscilaciones de la calidad (añadas) y que siguen valorándose incluso en vinos de largas elaboraciones en bodega.

Ecofisiología de la vid: Economía de recursos y expresión en la calidad del fruto

La Ecofisiología de la planta o el cultivo estudia las bases del comportamiento de la planta en relación con el medio, que en definitiva son la resultante de la interacción entre las capacidades genéticas y las variaciones edafoclimáticas, de estreses bióticos y abióticos y de las prácticas de cultivo a las que la planta responde. El conjunto de respuestas ecofisiológicas determina finalmente la cantidad de fruto y su calidad.

Un enfoque muy común en los estudios de las respuestas ecofisiológicas de las plantas es la valoración del comportamiento frente a la disponibilidad de los recursos ambientales básicos como la luz, las sustancias minerales, el agua y el dióxido de carbono, CO_2. La particular eficiencia en el uso de estos recursos depende de las capacidades genéticas de la planta y refleja las adaptaciones propias de la especie o variedad.

En la vid (*Vitis vinifera*) la optimización de la intercepción de la luz, es un problema sobre todo en zonas de clima templado con baja radiación promedio. En la vid, más que en ningún otro cultivo se han desarrollado diferentes sistemas de conducción (en vaso, cordón, lira, etc) que tienden a maximizar la radiación interceptada (Smart, 1973; 1985).

En cuanto a los nutrientes minerales, se conocen ampliamente las necesidades de la vid y las dosis recomendables de abonado en función del suelo, la planta y la cosecha, así como los efectos de dosis excesivas sobre el desarrollo vegetativo y sobre la calidad de la cosecha (Mullins *et al.*,1992). Un exponente más de la profusión de investigaciones en torno a este cultivo es la variedad de estudios incluso sobre los posibles efectos de un aumento de CO_2 por el cambio climático (Schultz, 2000).

En cuanto al agua, los efectos de la disponibilidad de agua sobre la producción y la calidad de la cosecha han merecido amplísimos estudios de diferentes equipos, incluidos los

trabajos de nuestro equipo, recientemente compilados (Medrano *et al.*, 2003) y que se comentan en detalle a continuación.

A partir de estos estudios, es generalmente admitido que, en la vid, la disponibilidad de recursos que conduce a las máximas cosechas (elevada radiación, nutrición mineral y disponibilidad de agua) conlleva calidades del fruto reducidas, de forma que la máxima calidad se alcanza en condiciones subóptimas de disponibilidad de agua y de nutrientes . La identificación de los rangos de disponibilidad de nutrientes y, sobre todo, de agua que conducen a la máxima calidad resulta en la vid particularmente compleja porque varían con la variedad, el momento del ciclo, las condiciones climáticas, las prácticas agronómicas, la cosecha esperable y el nivel de calidad que se pretende. Además, el amplio y profundo desarrollo del sistema radicular en la vid hace muy difícil el control preciso de la disponibilidad de nutrientes y agua. Esta dificultad de control explica la diversidad de criterios sobre los efectos del riego en la calidad que ha sido cualificado como negativo, positivo, o, en una visión más ecléctica, como una vía para dosificar la producción y escoger la calidad de la cosecha en viña (Mattews, *et al.*,1990)

La controversia sobre los efectos del riego en la calidad de la vid, a pesar de la elevada profusión de estudios, incluso en nuestro país, nos condujo a estudiar las bases fisiológicas de los efectos del riego, a fin de abstraernos de las condiciones peculiares de cada ensayo y conocer las limitaciones que induce el déficit hídrico en suelo sobre la producción (fotosíntesis) y sobre parámetros clave de la calidad de la uva.

Efectos del déficit hídrico en la fotosíntesis y la producción

Entre los procesos fisiológicos que se ven afectados por el déficit hídrico, la fotosíntesis ocupa un papel primordial como proceso clave en la producción de nueva biomasa, tanto en el crecimiento vegetativo como en la producción de cosecha. En consecuencia, los efectos del estrés hídrico sobre los procesos fotosintéticos han sido largamente estudiados a diferentes niveles y en áreas que van de la Ecofisiología al Metabolismo Celular o la Biología Molecular (Flexas y Medrano, 2002; De Souza *et al.*, 2003).

La regulación de la fotosíntesis bajo estrés hídrico está determinada en gran medida por las limitaciones a la difusión del CO_2 al mesófilo (control estomático) (Escalona *et al.*., 1999a, Flexas *et al.*, 2002). Sin embargo en condiciones de estrés hídrico severo, la fotosíntesis se ve condicionada también por otros efectos, que incluyen reducciones en la vía fotoquímica, regulaciones metabólicas, de actividades enzimáticas, de drenado de asimilados, etc, y que son habitualmente considerados "no estomáticos". La importancia práctica (agronómica) de esta distinción se debe a la inmediata reversibilidad de los efectos estomáticos tras riego y la más lenta reversión de los no estomáticos y a los posibles cambios en las rutas metabólicas derivados de los efectos no estomáticos.

Efectos estomáticos en la regulación de la fotosíntesis foliar

Es evidente que la limitación estomática reduce la actividad fotosintética de las hojas en vid en respuesta al déficit hídrico y esto se refleja en la caída progresiva de la conductancia estomática (g) y de la tasa de fotosíntesis (A), (Figura 1) así como en la estrecha correlación observada entre A y g, (Escalona *et al.*, 1999a). Tal correlación indica que más de un 80% de las variaciones en la tasa de fotosíntesis se pueden explicar por variaciones en la conductancia estomática. Esta correlación también se observa a lo largo de la estación de crecimiento en vid en nuestras condiciones de cultivo o en plantas de vid crecidas en maceta a las que se les someten un estrés hídrico en un período corto de tiempo (Flexas *et al.*, 1999a).

Efectos no estomáticos en la regulación de la fotosíntesis foliar

Una vía para dilucidar la importancia relativa de los efectos estomáticos frente a los no estomáticos es el estudio de las curvas de respuesta de la fotosíntesis a la luz y sobretodo al CO_2. En trabajos realizados anteriormente en vid, demostramos que la eficiencia cuántica, obtenida directamente mediante medidas de la fluorescencia de la clorofila no disminuye por el estrés hídrico (Flexas *et al.* 1998a). Igualmente, medida como pendiente inicial de la curva de la luz (Figura 2), la eficiencia cuántica se mantiene estable y solamente se detecta una reducción evidente en plantas sometidas a estrés hídrico severo (Escalona *et al.*, 1999a). El análisis de las curvas de respuesta de la fotosíntesis a concentraciones crecientes de dióxido de carbono (curvas de CO_2) muestran una importante caída general de los valores de Amax-CO_2, con la estación (37%), observándose además una importante reducción adicional debida a la sequía (15%).Ambas reducciones son estadísticamente significativas. Además, la correlación entre fotosíntesis a saturación y el potencial hídrico foliar es también altamente significativa, sobre todo para la variedad Tempranillo, indicando una fuerte dependencia de Amax-CO_2 respecto del estatus hídrico de la planta. Se observa también una disminución generalizada de la eficiencia en la carboxilación (ε□) según progresa el periodo estival, que resulta estadísticamente significativa (Escalona *et al.*, 1999a). Estos resultados demuestran por tanto la presencia de diferentes efectos no estomáticos en la reducción de la fotosíntesis en respuesta a la sequía en condiciones de campo.

Efectos en planta completa

Las medidas en campo demuestran que un déficit hídrico moderado reduce la fotosíntesis a la mitad. Sin embargo estas medidas se obtienen en hojas bien iluminadas, sanas y recién expandidas, mientras que la acumulación de fotosintatos en términos de producción se debe a la fotosíntesis del conjunto de la planta con hojas en diferente posición, que reciben diferentes dosis de luz y que pueden estar más o menos afectadas por el déficit hídrico. Para evaluar los efectos de la sequía en la producción de fotosintatos necesitamos valorar los efectos al nivel de planta entera, y esto supone o bien la realización de muchas más determinaciones, o bien englobar la planta en una gran cámara de intercambio de gases. En vid, se han realizado estudios de fotosíntesis en planta entera (Intrierini *et al.*, 1997) aunque no hay antecedentes de la comparación del efecto del estrés hídrico.

A fin de conocer los efectos del estrés hídrico en planta entera, se distinguieron ocho zonas, atendiendo a la diferente disposición espacial y orientación de las mismas (Fig.3). La variación encontrada en las tasas de fijación de carbono y de transpiración entre las diferentes zonas del dosel vegetal a lo largo del día se corresponde con las diferencias en la luz incidente para cada nivel. En trabajos similares, (Intrierini *et al.* 1997, Zufferey *et al.* 1997) también se observa esta correspondencia entre la variación diaria de la tasa de fotosíntesis y la variación de la luz interceptada por las hojas en cada una de las orientaciones. La fijación diaria de carbono y las tasas de transpiración calculadas por integración de las medidas instantáneas a lo largo del día, fueron siempre mayores en las hojas de la zona superior de la planta. Los valores más bajos se midieron en las hojas situadas en la parte interna. Por otra parte los ciclos diarios muestran un claro efecto compensatorio entre las hojas situadas en orientaciones opuestas (Escalona et al., 2003a). La valoración conjunta de las aportaciones de las diferentes zonas del dosel muestra una disminución progresiva de la fotosíntesis y transpiración diaria de la planta con la estación en condiciones de riego moderado. Esta disminución se agrava en condiciones de sequía.

Los datos anteriores se refieren a la asimilación por unidad de superficie foliar y día. Para calcular la ganancia de carbono de cada nivel debemos conocer la superficie foliar correspondiente que, lógicamente no es uniforme y que se reduce considerablemente con la sequía. Así, las integrales diarias de asimilación de CO_2 en cada zona del dosel y el área foliar de cada uno de ellos permiten hacer una estima elemental del carbono asimilado por la planta en el día de muestreo. Ambas componentes del "carbono asimilado" dependen fuertemente del agua disponible en suelo, aunque dicha dependencia es mas pronunciada en la fotosíntesis total que en el área total de la planta. Igualmente, se puede calcular la integral diaria de luz fotosintéticamente activa (PAR) interceptada, a partir de medidas de PAR en hojas de diferentes localizaciones del dosel. Los resultados obtenidos muestran que las variaciones de la fotosíntesis en el dosel se corresponden con la cantidad de luz interceptada (Figura 4), también en condiciones de sequía (Escalona *et al.* 2003a), aunque dicha correspondencia no parece uniforme.

Conocidos el carbono asimilado y la luz interceptada podemos calcular la eficiencia promedio en la intercepción de la luz como la pendiente entre los valores de las integrales de la fotosíntesis diaria y la luz interceptada a lo largo del día. En condiciones de buena disponibilidad hídrica, las plantas presentaron en todas las posiciones del dosel unos valores similares y cercanos al 1% para las dos variedades y durante los dos años de experimentación. Éste es un valor relativamente elevado (Cooper, 1976), aunque cabe señalar que no se han tenido en cuenta las pérdidas por respiración.

La sequía provocó una reducción de la eficiencia en el uso de la luz muy importante, mostrando valores cercanos al 0,2% para las dos variedades estudiadas y en los dos años de experimentación. Comparando los valores de la eficiencia en el uso de la luz y el potencial hídrico foliar al amanecer (Ψ_{PD}), referencia reconocida del estatus hídrico de la planta y el suelo, se observa una dependencia completa de la eficiencia en la utilización de la luz respecto al Ψ_{PD} (Figura 5). Esta correspondencia se mantiene y mejora frente a la conductancia estomática, g, independientemente de la variedad y el año (Escalona *et al.* 2003a).

Estos resultados abren una interesante vía a la predicción y cuantificación de la producción de asimilados en función de la radiación interceptada en vid, y permiten una cuantificación "global" o de planta entera del efecto del déficit hídrico, basándose en la medida de la radiación incidente, la superficie foliar que la intercepta y un indicador del estatus hídrico de la planta, g o bien Ψpd.

Efectos del déficit hídrico en el transporte de asimilados

Cabe plantearse si la sequía, además de reducir la producción de asimilados en la planta, induce diferencias en el reparto de los mismo, sobretodo, en el reparto hacia el fruto, y en vid, aunque los patrones de reparto de asimilados han sido ampliamente estudiados no se dispone de antecedentes en el estudio de los efectos del estrés hídrico. En este sentido, se realizaron una serie de experimentos de marcado con ^{14}C en plantas en maceta con y sin fruto y analizando 24 horas más tarde el reparto del carbono asimilado en diferentes fracciones de la planta (Bota *et al*, 2004). Se observó que el déficit hídrico reduce en Tempranillo la exportación de azúcares desde las hojas al resto de la planta. Sin embargo, el contraste entre plantas con fruto y sin él demuestra el fuerte efecto del fruto estimulando la exportación de asimilados. Este efecto prevalece sobre el del estrés hídrico, aunque en sequía se aumenta el reparto hacia órganos de reserva como raíces, tronco y sarmientos, el patrón de reparto no resulta significativamente diferente del de riego en Tempranillo. En cambio, en Alfonso Lavallé, la sequía cambia significativamente este patrón de reparto reduciendo considerablemente la exportación hacia racimos a favor de los órganos de reserva.

Efectos en la producción y cosecha

La producción de biomasa por la planta engloba una parte mas apreciable que denominamos "cosecha". En el caso de la vid, esta cosecha se refiere al peso de racimos por planta (producción unitaria). La reducción de la producción, inducida por el déficit hídrico, se refleja en la cosecha puesto que el modelo de transporte de asimilados mayormente se mantiene. A nivel agronómico, el efecto positivo del riego sobre la producción de frutos está ampliamente demostrado. A nivel internacional y en nuestro país, se han realizado numerosos estudios sobre este tema en zonas vitícolas como Rioja (García-Escudero *et al.*, 1991), Ribera del Duero y Madrid (Bartolomé *et al.*, 1995), Priorato (Nadal y Arola, 1995), y Somontano (Sipiora y Gutiérrez-Granda, 1998). Los resultados de estas investigaciones señalan incrementos de producción significativos aunque variables. En nuestras condiciones experimentales, y promediando diez años de observaciones se han observado incrementos de entre el 30 y el 200 % en la cosecha, que han sido habitualmente y en promedio mayores en la variedad tempranillo. Así, en plantas no regadas la producción unitaria promedio fue de 2,50Kg frente a 5,80Kg en plantas regadas al 30% de la ETP mientras que en Manto Negro, (variedad mallorquina) fue de 2,70 Kg en plantas no regadas frente a 3,60 Kg en plantas regadas al 30% de la ETP (Medrano *et al.*, 2003). Se ha observado además un claro incremento en el peso fresco y el peso seco de 100 bayas por efecto del riego. En Tempranillo, el incremento en el peso de la baya no justifica completamente el incremento de la cosecha señalando que el número de racimos por planta y el número de bayas por racimo también aumentan con el riego. Sin embargo, los incrementos de cosecha de Manto Negro parecen estar más determinados por el incremento del peso fresco de la baya. Además, esta variedad muestra una mayor estabilidad interanual en la producción (Tabla 1), (Escalona, 2003b).

Déficit hídrico y parámetros de calidad de la uva

La experiencia común muestra que en general veranos lluviosos se corresponden con uvas de menor calidad. Cuando tratamos de cuantificar esta dependencia de la calidad respecto a la disponibilidad de agua en suelo el problema resulta complejo. Si la máxima calidad del fruto en vid se consigue en condiciones subóptimas de cultivo, el problema está en definir esas condiciones (Matthews y Anderson, 1988; García Escudero, 1991). En general, variedades de vid mejor adaptadas a condiciones de baja disponibilidad de agua en el suelo muestran un menor incremento en la producción respecto a cultivares adaptados a climas templados. A pesar de los numerosos estudios sobre la repercusión del riego en la calidad del fruto no se presenta unanimidad en las conclusiones sobre sus efectos (Freeman y Kliewer, 1983; Hepner *et al.*, 1985;). En primer lugar, hay que resaltar que no existe común acuerdo en las variables elegidas como parámetros de calidad, lo que dificulta las comparaciones. Por otra parte, la respuesta al riego presenta variaciones notables en función del momento de aplicación, variedad y condiciones ambientales, de forma que el efecto del riego se juzga como positivo, negativo o bien simplemente como una práctica que puede permitir controlar la calidad final del fruto (Matthews *et al.*, 1990; García Escudero, 1991). Las experiencias citadas muestran que debería identificarse, para cada variedad el estatus hídrico de la planta que conduce a optimizar la calidad y en consecuencia las dosis y momentos de riego óptimos. Por otra parte, la mayoría de estos estudios se han realizado en un período corto de tiempo que no garantiza la repetibilidad de las conclusiones obtenidas. La variación interanual en las condiciones ambientales, y la falta de un referente a la reserva hídrica disponible para la

planta, o de indicadores fisiológicos del estatus hídrico de la misma, hacen difícil comparar las distintas experiencias resultando en una diversidad de respuestas muy amplia.

Dado el papel clave de la disponibilidad hídrica en la determinación de la calidad, y con el fin de minimizar estas fuentes de variación, se ha realizado un estudio de larga duración (10 años), a fin de esclarecer los efectos de aplicación de dosis moderadas de riego en las características físico-químicas de la uva así como las posibles dependencias existentes entre el estatus hídrico de la planta y ciertos parámetros que determinan la calidad de la uva.

Efecto en el contenido en azúcares del mosto

El contenido en azúcares del mosto es uno de los más ampliamente determinados. Este parámetro parece depender de la disponibilidad de agua en el suelo (Freeman y Kliever, 1983; Esteban *y col.,* 1999) mostrando variaciones a veces positivas y a veces negativas. Estos resultados, contradictorios, suelen asociarse a la fuerte influencia de las variaciones ambientales, varietales y de cultivo, y en particular a las variaciones en las dosis de riego. En nuestras condiciones experimentales, el contenido en azúcares del fruto (expresado como sólidos solubles) varía a lo largo del período de maduración de la baya al mismo ritmo que se incrementa el peso fresco de la baya para ambas variedades (Fig. 11). El riego causa un cierto retardo en la acumulación de azúcares durante el envero. Sin embargo, en la fase de maduración, este retardo se compensa y en el momento de cosecha, el contenido en azúcar es similar en ambos tratamientos para las dos variedades estudiadas (Escalona, 2003b)

Efecto en la acidez del mosto

Parece probado un efecto negativo de estrés hídrico en el contenido de ácido málico del mosto (Bravdo *et al.*, 1985), sobre todo si éste se induce antes del envero. Por otro lado, el aporte hídrico puede afectar al pH del mosto, aunque su incidencia no es universal, sino que varía según la variedad estudiada (Freeman y Kliewer, 1983; Bravdo *et al.,* 1985) incluso no se ve afectado por el riego (Esteban *et al.,* 1999).

En nuestras condiciones experimentales, la evolución de la acidez total del mosto durante el período de envero y maduración no se ve afectada por el riego. Durante el envero, se produce una disminución importante de la acidez del mosto en paralelo con la acumulación masiva de azúcares, seguido de una ligera disminución hasta momentos antes de cosecha, momento en el cual, se estabiliza (Fig.7). Esteban *et al.,* (1999), observaron resultados similares. Sin embargo, si se analizan por separado los dos ácidos orgánicos más importantes (ácido tartárico y ácido málico), se evidencian respuestas contrastadas entre las dos variedades. MN presenta, en el momento de la cosecha, un incremento del contenido en ácido málico superior al 50% por efecto del riego, en correspondencia a lo descrito anteriormente para ciertas variedades. La dependencia del pH del mosto respecto a la disponibilidad de agua en el suelo es mas común en cultivares adaptados a condiciones de sequía como por ejemplo la variedad Cariñena (Freeman y Kliever, 1983). Sin embargo variedades más susceptibles como Cabernet Sauvignon (Hepner *et al.,* 1985) o Tempranillo (Escalona, 2003b; Esteban *et al.,* 1999; Esteban *et al.,* 2001), no muestran variaciones significativas en el pH del mosto por efecto de dosis moderadas de riego.

Efecto en la composición fenólica

Un parámetro de calidad fundamental de las variedades tintas de vinificación es el contenido en compuestos fenólicos que fundamentalmente se encuentran en la piel de la baya y que son responsables de sensaciones táctiles, visuales y gustativas del vino. El riego

moderado puede reducir de forma importante al contenido de compuestos fenólicos (Freeman y Kliever, 1983). Sin embargo, este efecto presenta una gran variabilidad interanual (Escalona, 2003), lo que explica que trabajos realizados en período de tiempo cortos (de uno a tres años), presenten resultados contradictorios tanto en el sentido como en la magnitud de variación. Nuestros resultados muestran una reducción en el contenido de compuestos fenólicos de hasta un 20% como promedio (Tabla 2). Esta reducción no se debe a una "dilución" del contenido de la baya, puesto que en todos los casos se ha referido al peso seco de la misma. Por tanto, la mayor disponibilidad de agua en suelo provoca una disminución en la síntesis y acumulación de estos compuestos.

Además, la pérdida de color se va intensificando a medida que se utilizan dosis de riego más elevadas, circunstancia que es constatada por Freeman y Kliever (1983) y García Escudero *y col.* (1997). Algunos autores atribuyen este descenso de color al aumento de la producción y del tamaño de la baya, en definitiva, a la disminución de la relación hollejo/pulpa, que agravan los fenómenos de dilución (Esteban et *al.*, 2001; García Escudero, 1991). Además, el mayor desarrollo vegetativo debido al riego, suele propiciar un microclima de menor iluminación de los racimos y por tanto más desfavorable para la biosíntesis de las sustancias responsables del color Carbonneau *et al.*, (1982).

Para nuestras condiciones experimentales, la aplicación de dosis moderadas de riego, tienen un efecto negativo en el contenido en antocianos solamente en la variedad Manto Negro, con una disminución promedio de un 44% respecto a las bayas de plantas no regadas (Escalona, 2003b). Este efecto aparece ya desde los primeros estadios de la fase de maduración de la baya (Figura 8). Resultados similares se han encontrado en otras variedades adaptadas a condiciones de sequía como Cariñena (Freeman y Kliewer, 1983). Sin embargo, la variedad Tempranillo, no presenta diferencias significativas en el contenido en antocianos para los dos tratamientos y, además de presentar contenidos superiores de antocianos, muestra menor variabilidad interanual, lo que marca de nuevo una clara diferencia de patrón de respuesta frente a dosis moderadas de riego entre estas dos variedades.

Efecto en el perfil antociánico

Una de las características varietales más importantes es la intensidad y tonalidad del color de la piel que viene determinada por el perfil antociánico (Escalona, 1994; Fernández-López *et al.*, 1992; González-San José *et al.*, 1990). La cantidad y forma química de estos componentes de la piel en el momento de cosecha puede estar condicionada por las condiciones climáticas, de cultivo y del tipo de suelo en que se desarrolla la planta (Cacho *et al.*, 1992). Así, el régimen de lluvias o la aplicación de riego puede afectar de forma importante al contenido final de antocianos (Esteban *et al.*, 2001). Sin embargo, este contenido presenta importantes variaciones en relación con la variedad y la dosis y el calendario de riego. Freeman y Kliewer (1983) han podido comprobar que, en cepas de la variedad Cariñena, el riego frena la acumulación de antocianinas en la piel de la baya. Similares resultados encuentran Matthews *y col.* (1990) para la variedad Cabernet Franc, no solo en lo que se refiere a la concentración de antocianinas, sino también en la cifra global de fenoles solubles. De manera general, el déficit hídrico induce en uvas la síntesis de antocianinas, así como su acilación, aunque no se conoce suficientemente en qué medida se ven afectados por el estrés hídrico los pigmentos como el Malvidina-3-monoglucósido, principal compuesto antociánico de las uvas tintas.

El análisis pormenorizado de las diferentes antocianidinas-3-glucósido (delfinidina, petunidina, malvidina, peonidina y cianidina.3-glucósidos), presentes en la piel de la baya de las variedades de vid estudiadas demuestra que la antocianina mayoritaria es la malvidina-3-glucósido (entre un 60 y un 70% del total) y la cianidina-3-glucósido la minoritaria. En

nuestras condiciones experimentales, el riego provoca además cambios en la proporción en la que se encuentran las diferentes antocianidinas (Tabla 2) así como su grado de acilación para formar acetatos y p-cumaratos de antocianidinas (Escalona, 2003b). Estos cambios están asociados a cambios en estabilidad, intensidad y tonalidad del color de la baya. Así, los resultados muestran que en condiciones de riego moderado, Tempranillo mantiene una mayor presencia de antocianinas tri-substituídas (malvidina, petunidina y delfinidina-3-glucósido) respecto a las bisubstituídas (peonidina y cianidina-3-glucósido), así como un mayor grado de acilación de las antocianidinas que la variedad Manto Negro, lo que le proporciona una mayor estabilidad de color.

Consideraciones finales

El déficit hídrico en suelo, modulado por el riego, condiciona la fotosíntesis y la producción y, en nuestras condiciones ambientales, ciertos parámetros que confieren calidad a la uva, aunque sólo se han comparado situaciones de no riego con un riego deficitario controlado. En todos los casos, la magnitud de estos efectos depende de la variedad. Experiencia similares en Tarragona y Rioja, han confirmado que los resultados del riego deficitario son muy distintos en cada localidad y la determinación del balance hídrico mediante sensores de flujo de savia ha permitido apreciar que la disparidad de resultados se explica por la diferente reserva de agua en el suelo que provoca que un riego deficitario se convierta en excesivo o muy escaso. El parámetro clave por tanto es el agua disponible para la planta y su determinación resulta muy difícil en un cultivo como la viña con una gran extensión y profundidad de raíces. Definir el riego en base a la reserva de agua resulta poco operativo aun disponiendo de un amplio número de sensores a diferentes profundidades (Sánchez Llorente, 2004). El problema se traslada a la identificación de parámetros fisiológicos que reflejen el estatus hídrico de la planta y puedan utilizarse para decidir el momento y volumen de riego. Es muy frecuente recurrir al potencial hídrico, pero resulta engorroso. Nuestros resultados apoyan el interés de las medidas del flujo de savia y la conductancia estomática. Sobre las bases de los estudios anteriormente reflejados, nuestro esfuerzo se orienta a la identificación de parámetros sencillos, y a ser posible de determinación automatizada, que reflejen el estatus hídrico de la planta y de los valores umbrales que conducen a optimizar la calidad del fruto.

Bibliografía

Bartolomé M.C.; Sotés V.; Baeza P.; Ruiz C.; Lissarrague J.R. 1995. Efectos del déficit hídrico sobre el desarrollo vegetativo y fructífero del cultivar "Tempranillo" de vid (*Vitis vinifera* L.). Invest. Agr., Prod. Prot. Veg. 10 (2): 245-261.

Bota J.; Stasik O.; Flexas J.; Medrano H. 2004. Effects of water stress on 14C labelled photosynthates in *Vitis vinifera*. Funct. Plant Biol. 31: 697-708.

Bravdo B.; Hepner Y.; Loinger C.; Cohen S.; Tabacman H. 1985. Effect of irrigation and crop level on growth, yield and wine quality of Cabernet Sauvignon. Amer. J. Vitic. Enol. 36 (2): 132-139.

Cacho J.; Fernández P.; Ferreira V.; Castells J.E. 1992. Evolution of five anthocyanidin-3-glucosides in the skin of the Tempranillo, Moristel and Garnacha grape varieties and influence of climatological variables. Amer. J. Vitic. Enol. 43: 244-248.

Cacho J.F. 2003. El vino, su composición y nuestros sentidos. Real Academia de Ciencias Exactas, Físicas, Químicas y Naturales de Zaragoza.

Carbonneau A.; Casteran P.; Leclair P. 1982. Application à l'étude synthétique des principaux facteurs du milieu expliquant la hiebarchie des crus. Vignes Vins.

Columela L.J.M. 0042. De Re Rustica, libros 3° y 4° (Edición facsímil en español). Sociedad Nestlé, Santander, España, 1979.

Cooper J.P. 1976. Photosynthesis as an industrial source.En: Proceedings of the Conference on Energy and the Environmenta. pp 99-118. Birmingham University.

De Souza C.; Marocco J.; Dos Santos P.; Rodríguez M.L.; Lopes C.M.; Pereira J.S.; Chaves M. 2003. Partial rootzone drying: regulation of stomatal aperture and carbon assimilation in field-grown grapevines (*Vitis vinifera* cv. Moscatel). Funct. Plant Biol. 30: 653-662.

Escalona J.M. 1994. Aportaciones al conocimiento de la composición flavonoideea de variedades *Vitis vinifera* L. para su consumo en fresco. Bull OIV.

Escalona J.M. 2003b. Respuestas de la vid frente al déficit hídrico: efectos sobre la fotosíntesis y la transpiración en hoja y en planta entera y su repercusión en la calidad del fruto. Tesis Doctoral. Universitat de les Illes Balears.

Escalona J.M.; Flexas J.; Medrano H. 1999a. Stomatal and non-stomatal limitations of photosynthesis under water stress in field-grown grapevines. Austr. J. Plant Physiol. 26: 421-433.

Escalona J.M.; Flexas J.; Bota J.; Medrano H. 2003a. Distribution of leaf photosynthesis and transpiration within grapevine canopies under different drought. Vitis 42 (2): 57-65.

Esteban M.A.; Villanueva M.J.; Lissarrague J.R. 1999. Effect of irrigation on changes in berry composition during maturation. Sugars, organic acids, and mineral elements. Amer. J. Vitic. Enol. 50: 418-434.

Esteban M.A.; Villanueva M.J.; Lissarrague J.R. 2001. Effect of irrigation on changes in the anthocyanin composition of the skin of cv Tempranillo (*Vitis vinifera* L) grape berries during ripening. J. Sci. Food Agric. 81: 409-420.

Fernández-Lopez J.A.; Hidalgo V.; Lamela L.; López J.M. 1992. Quantitative changes in anthocyanin pigment of *Vitis vinifera* cv Monastrell during maturation. J. Sci. Food Agric. 58: 153-155.

Flexas J.; Escalona J.M.; Medrano H. 1998a. Down-regulation of photosynthesis by drought under field conditions in grapevine leaves. Austr. J. Plant Physiol. 25: 893-900.

Flexas J.; Escalona J.M.; Medrano H. 1999a. Water stress induces different levels of photosynthesis and electron transport rate regulations in grapevines. Plant Cell Environ. 22: 39-48.

Flexas J.; Bota J.; Escalona J.M.; Sampol B.; Medrano H. 2002. Effects of drought on photosynthesis in grapevines under field conditions: an evaluations of stomatal and mesophyll limitations. Funct. Plant. Biol. 29: 461-471.

Flexas J.; Medrano H. 2002. Energy dissipation in C3 plants under drought. Funct. Plant Biol. 29: 1209-1215.

Freeman B.M.; Kliever W.M. 1983. Effect of irrigation, crop level and potassium fertilization on Carignane vines. II Grape and wine quality. Amer. J. Vitic. Enol. 34: 197-207.

García-Escudero E. 1991. Influencia de la dosis y del momento de aplicación del riego sobre la producción y desarrollo vegetativo, calidad del mosto, y nutrición mineral de la vid. Tesis Doctoral. Universidad Politécnica. Madrid.

García-Escudero E.; López R.; Santamaria P.; Zaballa O. 1997. Ensayos de riego localizado en viñedos productivos de cv. Tempranillo. Vitic. Enol. Prof. 50: 35-47.

González-San José M.L.; Barron L.J.; Díez C. 1990. Evolution of anthocyanins during maturation of Tempranillo grape variety (*Vitis vinifera*) using polynomial regression models. J. Sci. Food Agric. 51: 337-341.

Hepner Y.; Bravdo B.; Loinger C.; Cohen S.; Tabacman H. 1985. Effect o drip irrigation schedules on growth, yield, must composition, and wine quality of Cabernet Sauvignon. Amer. J. Vitic. Enol. 36 (1): 77-85.

Hidalgo J. 2003. Tratado de enología, Tomo II.
Intrierini C.; Poni S.; Rebucci B.; Magnanini E. 1997. Effects of canopy manipulation on whole-vine photosynthesis: results from pot and field experiments. Vitis 36: 167-173.
Janick J.N.; Cummins J.; Brown S.K.; Hemmat M. 1996. Apples. En: J. Janick y J.N. Moore (eds.): Fruit Breeding, vol. I, pp. 1-77.
Matthews M.A.; Ishii R.; Anderson M.M.; O'Mahony M. 1990. Dependence of wine sensory attributes on vine water status. J. Sci. Food Agric. 51: 321-335.
Medrano H.; Escalona J.M.; Cifre J.; Bota J.; Flexas J. 2003. A ten-year study of the physiology of two Spanish grapevine cultivars under field conditions: effects of grapewater availability from leaf photosynthesis to grape yield and quality. Funct. Plant Biol. 30: 1-13.
Mullins M.G.; Bouquet A.; Williams L.E. 1992. Biology of the Grapevine. Cambridge University Press.
Nadal M.; Arola L. 1995. Effects of limited irrigation on the composition of must and wine of Cabernet Sauvignon under semi-arid conditions. Vitis 34 (3): 151-154.
Poni S.; Lakso A.N.; Turner J.R.; Melious R.E. 1994. Interactions of crop level and late season water stress on growth and physiology of field-grown Concord grapevines. Amer. J Vitic. Enol. 45: 252-257.
Sánchez P. 2004. Respuestas de la vid (*Vitis vinifera*, cv Tempranillo) en relación con la evolución del contenido de agua en suelo en regimenes hídricos deficitarios. Tesis Doctoral. Univ. Politécnica Madrid.
Schultz H.R. 2000. Climate change and viticulture: European perspective on climatology, carbon dioxide and UV-B effects. Austr. J. Grape Wine Res 6: 2-12.
Sipiora M.J.; Gutiérrez Granda M.J. 1998. Effect of pre-veraison irrigation cutoff and skin contact time on the composition, color and phenolic content of young Cabernet Sauvignon wines in Spain. Amer. J. Vitic. Enol. 49: 152-162.
Smart R.E. 1973. Sunlight interception by vineyards. Amer. J. Vitic. Enol. 24: 141-147.
Smart R.E. 1985. Principles of grapevine canopy microclimate manipulation with implications for yield and quality. A review. Amer. J. Vitic. Enol. 36: 230-239.
Somers C. 1998. The wine spectrum. Hyde Park Press, Adelaide, Australia.
Thorngate J.H. 1997. The physiology of human sensory response to wine: A review. Amer. J. Vitic. Enol. 48 (3): 271- 279.
Zufferey V.; Murisier F. 1997. Orientation des ranges de vigne et interception de l'énergie lumineuse par le feuillage. Rev. Suisse Vitic. Arboric. Hortic. 29: 239-243.
Zufferey V.; Murisier F.; Schultz H.R. 2000. A model analysis of the photosynthetic response of *Vitis vinifera* L. cvs. Riesling and Chasselas leaves in the field: I. Interaction of age, light and temperature. Vitis 39: 19-26.

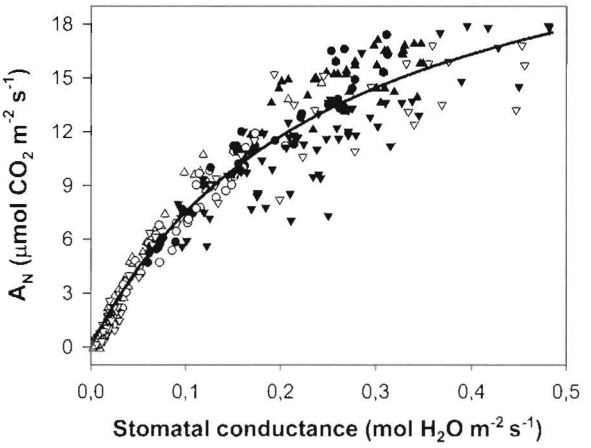


Figura 1.Dependencia de la asimilación neta de CO_2 respecto de la conductancia estomática. Los datos corresponden a plantas de vid sometidas a diferentes regímenes de riego.

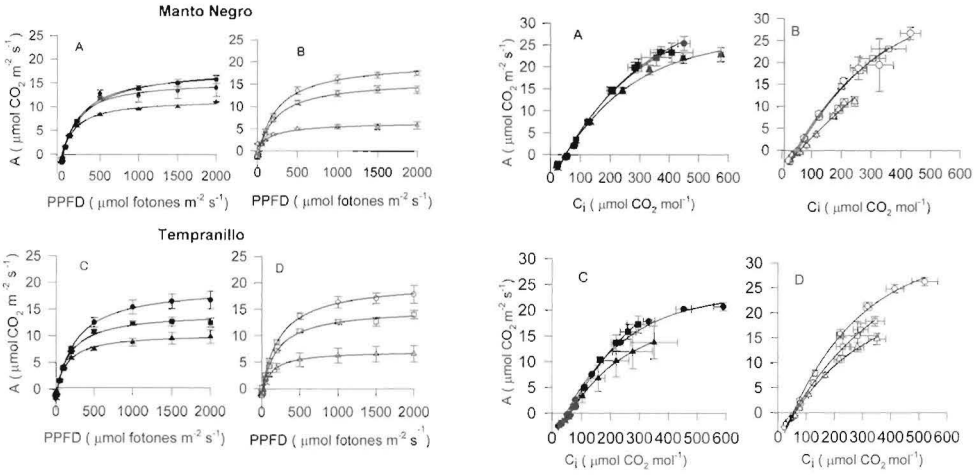


Figura 2. (Izquierda):Curvas de respuesta a la luz en hojas de Manto Negro (A y B) y Tempranillo (C y D) . Derecha: Curvas de respuesta al CO2 en hojas de Manto Negro (A y B) y Tempranillo (C y D. Círculos: bayas tamaño guisante; cuadrados: envero; triángulos: maduración En riego (símbolos rellenos) y no riego (símbolos vacíos) obtenidas en planta de un viñedo comercial en 1995.

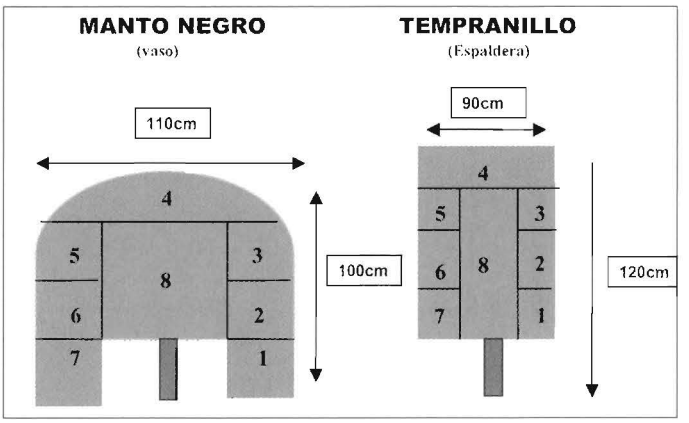


Figura 3. Diferentes secciones del dosel vegetal.

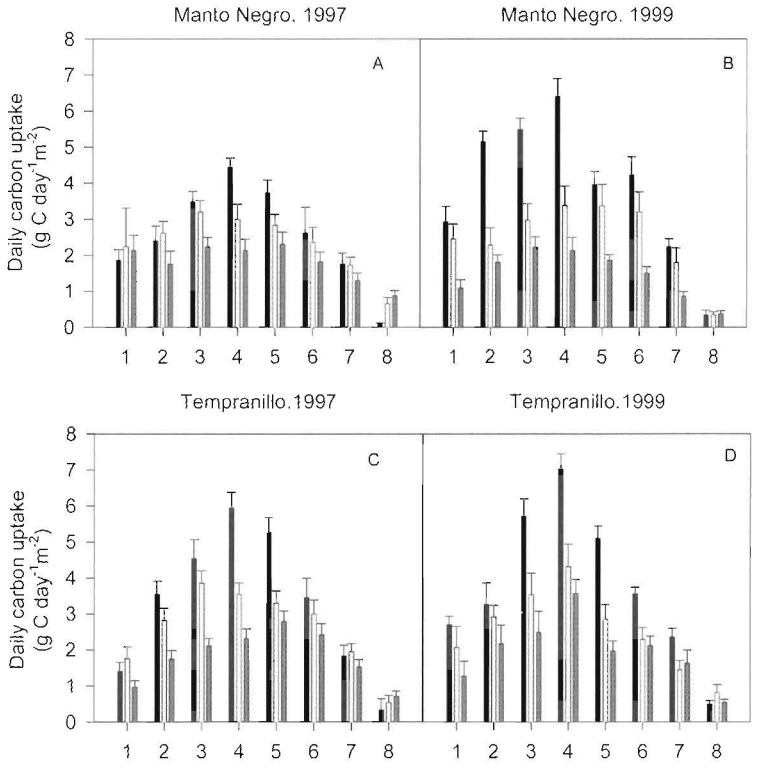


Figura 4. Asimilación diaria de carbono de diferentes localizaciones en condiciones de riego (negro), sequía moderada (blanco) y sequía severa (gris) en Manto Negro (A y B) y Tempranillo (C y D).

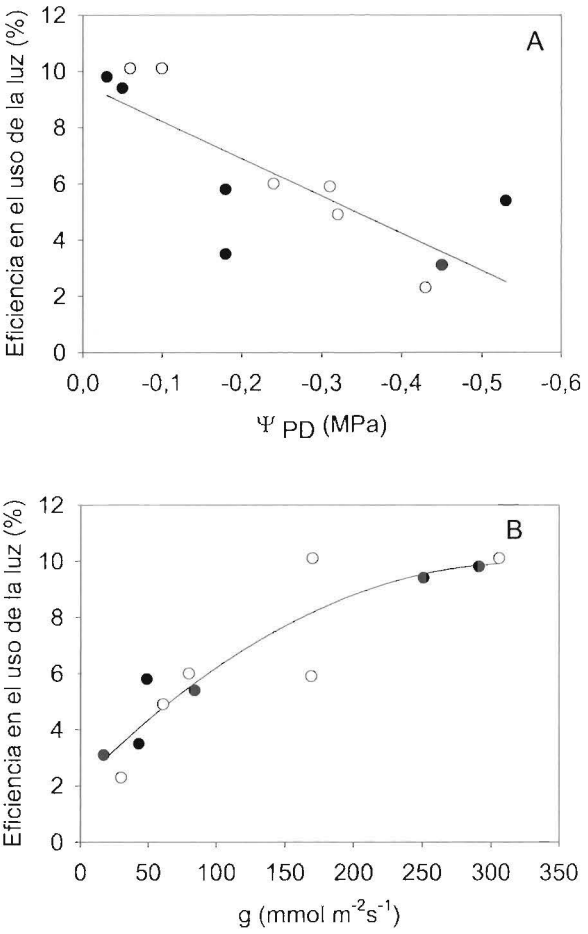


Figura 5. Correspondencia entre la eficiencia en el uso de la luz y el potencial hídrico al amanecer (A) y conductancia estomática máxima a luz de saturación (B). Los datos son de 1997 y 1999 de Manto Negro (símbolos rellenos) y Tempranillo (símbolos vacíos).

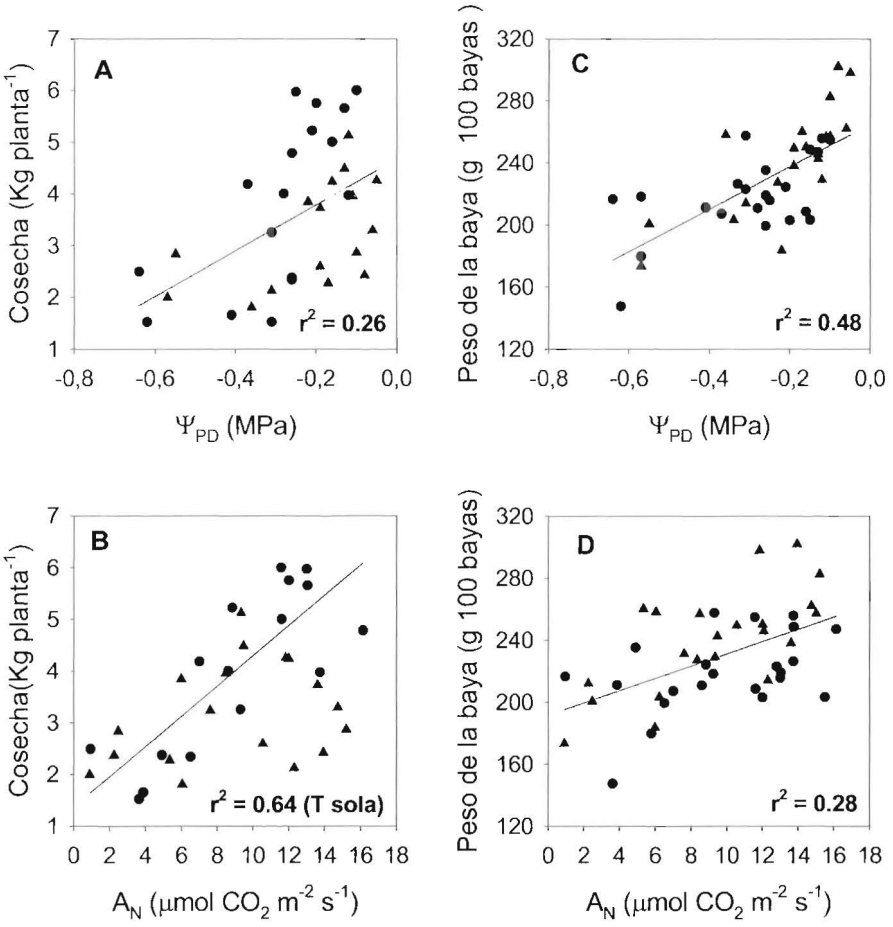


Figura 6. Dependencia de la cosecha en términos de producción unitaria por cepa (A y B) y del peso de la baya (C y D) con el potencial hídrico foliar medido al amanecer y la fotosíntesis neta foliar

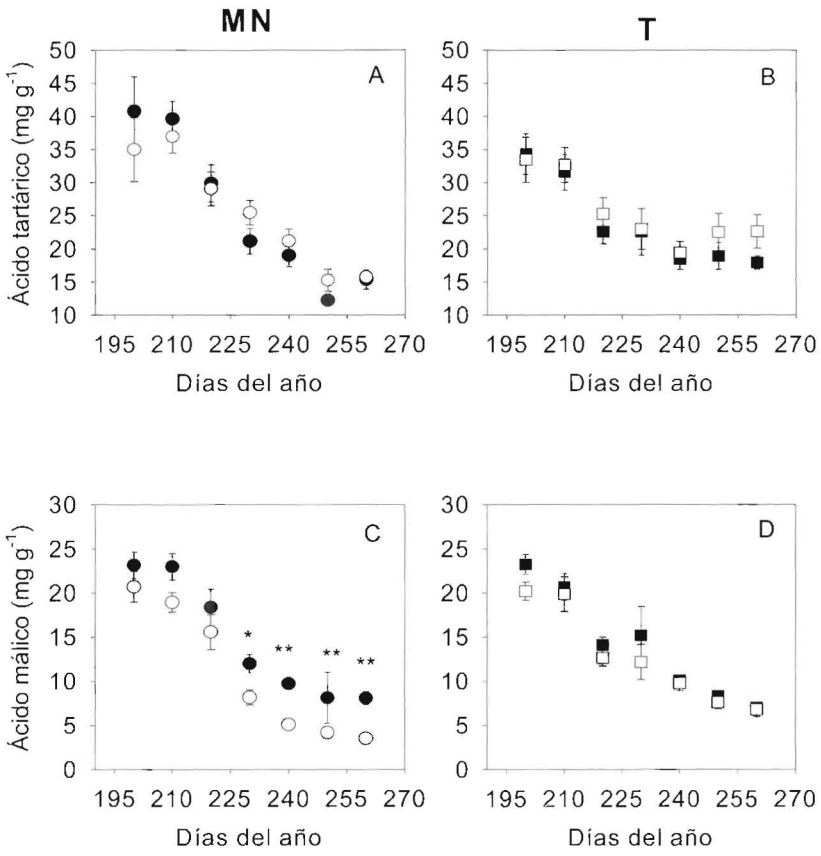


Figura 7. Cambios en el contenido en ácido tartárico (A y B) y ácido málico en el mosto (C y D), desde fase guisante hasta cosecha. Riego (símbolos rellenos); Sequía (símbolos vacíos). Los datos son valores promedio de siete años para intervalos de 10 días.

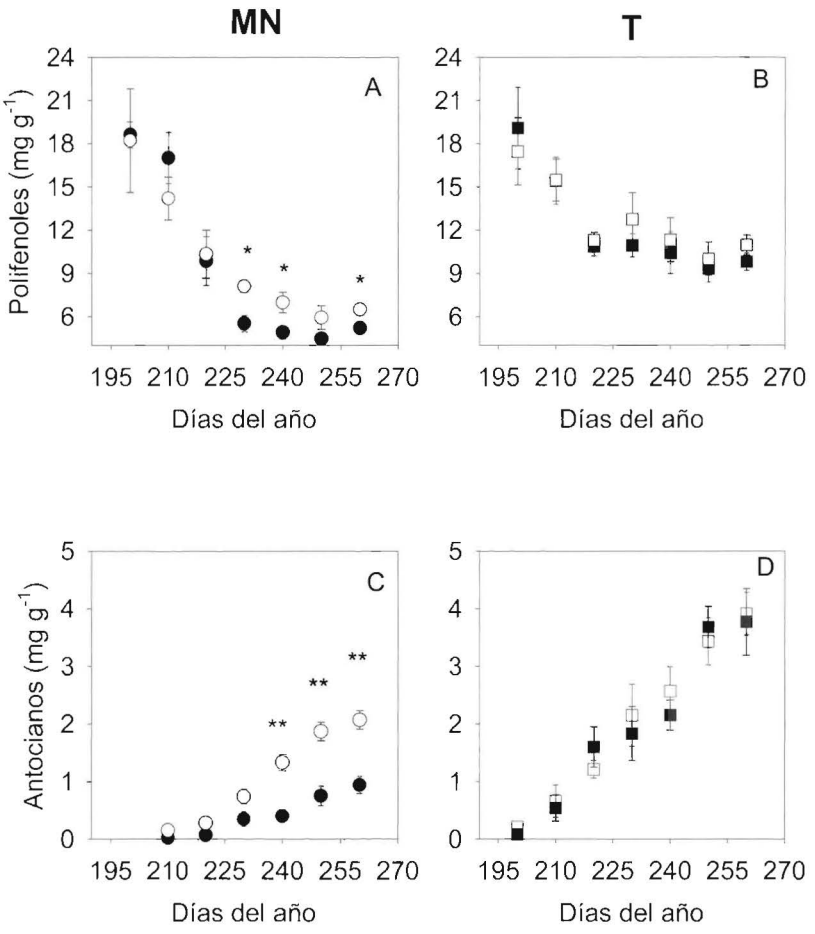


Figura 8. Cambios en el contenido en polifenoles totales (A y B) y antocianos totales en la uva (C y D), desde fase guisante hasta cosecha. Riego (símbolos rellenos); Sequía (símbolos vacíos). Los datos son valores promedio de siete años para intervalos de 10

Tabla 1. Valores promedio de siete años del peso fresco y seco de 100 bayas así como de algunos componentes presentes en el mosto y piel en cosecha.

	MANTO NEGRO		TEMPRANILLO	
	Riego	**No riego**	**Riego**	**No riego**
Peso fresco	256.6±3.72*	215.4±4.54	239.7±4.40	228.9±3.40
Peso seco	68.4±1.02*	57.5±0.97	54.88±0.83	52.09±0.83
Sólidos solubles	21.42±0.34	20.68±0.34	19.89±0.23	19.54±0.21
pH	3.73±0.03 *	3.59±0.03	3.56±0.09	3.55±0.09
Acidez total	4.97±0.19	4.99±0.19	5.90±0.21	5.72±0.21
Glucosa	364.5±7.35	372.2±7.00	399.9±8.46	383.6±8.46
Fructosa	351.9±6.52	355.4±6.21	360.0±9.50*	329.03±8.95
Ácido tartárico	15.53±0.49*	17.65±0.47	19.18±0.66	18.49±0.69
Ácido málico	8.10±0.18*	4.03±0.17	9.33±0.29	8.93±0.35
Polifenoles	4.40±0.26*	5.48±0.25	9.07±0.55*	10.55±0.55
Cosecha	3.72±0.44*	2.87±0.48	5.83±0.63*	2.47±0.32

Tabla 2. Contenido en antocianidinas libres y aciladas en la piel de la baya (mg/g peso seco)

	MANTO NEGRO		TEMPRANILLO	
	Riego	**No riego**	**Riego**	**No riego**
Malvidina-3-G	0.502±0.027*	0.954±0.041	1.339±0.061	1.292±0.052
Petunidina-3-G	0.094±0.006	0.116±0.009	0.274±0.018	0.279±0.019
Delfinidina-3-G	0.066±0.005*	0.088±0.011	0.372±0.022	0.335±0.020
Cianidina-3-G	0.032±0.004	0.040±0.004	0.047±0.003	0.041±0.003
Peonidina-3-G	0.103±0.014*	0.166±0.019	0.205±0.039	0.139±0.033
Antocianinas Libres	0.776±0.044*	1.404±0.076	2.247±0.116	2.079±0.099
Antocianinas aciladas	0.316±0.016*	0.623±0.024	1.229±0.112	1.427±0.156
Antocianinas Totales	1.220±0.049*	1.840±0.089	3.476±0.111	3.506±0.123

*Diferencias estadísticas entre tratamientos a $p<0.05$