



UNCUYO
UNIVERSIDAD
NACIONAL DE CUYO

FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS

TESIS DE MAESTRÍA

**EVALUACIÓN PRELIMINAR SOBRE LA FACTIBILIDAD
DE UNA VITICULTURA EN SECANO EN EL VALLE DE
CALAMUCHITA (CÓRDOBA), CV. MALBEC**

MAESTRÍA EN VITICULTURA Y ENOLOGÍA

Tesista: Daniela Martinelli

Director: Jorge Alejandro Prieto

Codirector: Jorge Perez Peña

Mendoza, junio 2023

EVALUACIÓN PRELIMINAR SOBRE LA FACTIBILIDAD DE UNA VITICULTURA EN SECANO EN EL VALLE DE CALAMUCHITA (CÓRDOBA), CV. MALBEC

RESUMEN

Estos últimos años en Argentina han emergido nuevos territorios vitivinícolas, como el Valle de Calamuchita (Córdoba), donde la superficie con vid aumentó de 0,89 ha a 32,9 ha entre 2009/2020. Las precipitaciones anuales allí alcanzan los 600 mm. Sin embargo, la falta de experiencia local en cuanto al requerimiento hídrico del cultivo, ha llevado a implementar estrategias de manejo del riego que son utilizadas en las zonas de cultivo tradicionales del país, que son más secas y cálidas. Esto puede generar un impacto negativo en el cultivo, así como un uso ineficiente del recurso hídrico. Por lo tanto, el objetivo de este trabajo fue evaluar la factibilidad de una viticultura en secano, en el Valle de Calamuchita. El ensayo se realizó con el cv. Malbec en dos temporadas consecutivas (2017/2018 y 2018/2019) y se instalaron 2 tratamientos. En la primera temporada los tratamientos correspondieron a un cultivo en secano y otro a un riego estándar, similar al aplicado en la zona (200 mm aproximadamente por temporada). En la segunda temporada los tratamientos correspondieron a un cultivo en secano, aplicado en las mismas plantas que la primera temporada, y un tratamiento con riego previo a brotación. El experimento se instaló en un viñedo de Malbec, en un diseño de bloques completos aleatorizados con 5 repeticiones. Se realizó una caracterización climática a través del índice de Winkler, índice heliotérmico de Huglin, índice de frescor nocturno e índice de sequía. Se midió la conductancia estomática (g_s) como indicador del estado hídrico, y también longitud de brotes y peso de poda. En cosecha se determinaron los componentes del rendimiento (peso de baya, número de racimos y peso de racimos por planta). Finalmente, se calculó la productividad del agua (PA) como la relación entre rendimiento y uso total de agua. De acuerdo a los índices climáticos, la zona se clasificó como de clima cálido-templado a cálido, de noches muy frescas a templadas y de moderadamente seco a húmedo. A su vez, g_s no presentó diferencias a lo largo de toda la temporada y se mantuvo por encima del valor umbral de déficit hídrico hasta cosecha. Tampoco hubo diferencias en el crecimiento vegetativo, ni en el rendimiento por planta. La evolución de madurez fue similar y la cosecha se realizó el mismo día con la misma concentración de sólidos solubles para ambos tratamientos. La concentración de antocianos

no fue afectada por los tratamientos, sin embargo, el cultivo en secano presentó mayor concentración de taninos y fenoles totales de hollejos, pero no así en las semillas. Finalmente, la PA fue mayor en secano que con riego. Se concluye que en el Valle de Calamuchita, es posible una viticultura en secano, ya que las precipitaciones son suficientes para un adecuado desarrollo vegetativo y una correcta madurez de las bayas.

***Vitis vinífera*, déficit hídrico, riego, precipitaciones, viticultura de secano**

PRELIMINARY EVALUATION OF THE FEASIBILITY OF RAINFED VITICULTURE IN THE CALAMUCHITA VALLEY (CÓRDOBA), CV. MALBEC

ABSTRACT

These last years in Argentina, new wine-producing territories emerged, such as the Calamuchita Valley (Córdoba), where the planted area with vines increased from 0,89 ha to 32,9 ha between 2009/2020. Annual rainfall there reaches 600 mm. However, the lack of experience regarding the water requirement of the crop has led to inadequate irrigation management. The objective of this work was to evaluate the feasibility of a rainfed viticulture in the Calamuchita Valley. The trial was carried out with cv. Malbec in two consecutive seasons (2017/2018 and 2018/2019) and 2 treatments were installed. In the first season: rainfed and standard irrigation, similar to that applied in the area (approximately 200 mm per season). In the second season: rainfed and irrigation prior to bud break. A climatic characterization was carried out through the Winkler index, Huglin heliothermic index, night coolness index and drought index. Stomatal conductance (g_s) was measured as an indicator of water status, shoot length and pruning weight were also measured. From veraison to harvest. At harvest, number and weight of clusters per plant were determined and water productivity (PA) was calculated as the relationship between yield and total water use. According to the climatic indices, the region was classified as having a warm-temperate to warm climate, with very cool to temperate nights, and moderately dry to humid. In turn, g_s did not present differences between treatments and remained above the threshold value of water deficit until harvest. There were also no differences in vegetative growth or yield per plant. The maturity evolution was the same and the harvest was carried out on the same day with the same sugar concentration for both treatments. The concentration of anthocyanins was not affected by the treatments, however, in the rain fed treatment concentration of tannins and total phenols were higher in the skins, but not in the seeds. Finally, the PA was higher in the rain fed treatment than in the irrigated one. It is concluded that in the Calamuchita Valley, commercial viticulture is possible with the annual rainfall that is sufficient for adequate vegetative development and correct ripeness of the berries.

***Vitis vinifera*, water deficit, irrigation, rainfall, rainfed viticulture**

ÍNDICE

RESUMEN.....	ii
ABSTRACT	iv
ÍNDICE.....	v
LISTADO DE TABLAS	vii
LISTADO DE FIGURAS.....	vii
1 INTRODUCCIÓN	1
1.1 Aspectos generales de la vitivinicultura en Calamuchita, Córdoba.....	1
1.2 Características climáticas de Calamuchita.....	2
1.3 Estado hídrico y respuesta de la vid.....	3
1.3.1 Estado hídrico y crecimiento vegetativo	4
1.3.2 Estado hídrico y crecimiento de la baya.....	5
1.3.3 Estado hídrico y composición de la baya	7
1.4 Determinación del estado hídrico de las plantas.....	10
1.5 Antecedentes de irrigación en regiones lluviosas	11
1.6 Productividad del agua en zonas húmedas.....	12
2 HIPOTESIS.....	13
2.1 Hipótesis General.....	13
2.2 Hipótesis específicas.....	13
3 OBJETIVOS.....	14
3.1 Objetivo general.....	14
3.2 Objetivos específicos	14
4 MATERIALES Y MÉTODOS	14
4.1 Sitio y material vegetal	14
4.2 Tratamientos y diseño experimental	15
4.3 Manejo del riego	17
4.4 Mediciones realizadas.....	18
4.4.1 Caracterización meteorológica e índices bioclimáticos.....	18
4.4.2 Coeficiente de cultivo (k_c) y evapotranspiración de cultivo.....	19
4.4.3 Conductancia estomática (g_s)	20
4.4.4 Crecimiento vegetativo.....	21

4.4.5	Componentes del rendimiento e índice de Ravaz.....	22
4.4.6	Evolución de madurez	22
4.4.7	Determinación de polifenoles.....	24
4.4.8	Productividad del agua en el viñedo.....	25
4.5	Análisis estadístico	26
5	RESULTADOS.....	26
5.1	Condiciones meteorológicas	26
5.2	Índices bioclimáticos	32
5.3	Coefficiente de cultivo (k_c), evapotranspiración del cultivo (ET _c) y lámina de agua aplicada.	33
5.4	Estado hídrico de las plantas: conductancia estomática	36
5.5	Desarrollo vegetativo: longitud de brotes, índice de área foliar (IAF), peso de poda y peso del despampanado	38
5.6	Componentes de rendimiento e índice de Ravaz (IR)	41
5.7	Evolución de madurez: peso de baya, acumulación de azúcar, pH y acidez total.	43
5.8	Análisis de polifenoles de bayas al momento de cosecha	47
5.9	Productividad del agua en el viñedo	48
6	DISCUSIÓN.....	50
6.1	Caracterización Climática.....	51
6.2	Coefficiente de cultivo (k_c), evapotranspiración del cultivo (ET _c) y lámina de agua aplicada	53
6.3	Estado Hídrico	54
6.4	Desarrollo Vegetativo	57
6.5	Componentes del rendimiento	59
6.6	Evolución de madurez	61
6.7	Composición fenólica	64
6.8	Productividad del agua.....	65
7	CONSIDERACIONES SOBRE LAS HIPÓTESIS	67
8	CONCLUSIONES	69
9	CONSIDERACIONES A FUTURO.....	70
10	BIBLIOGRAFÍA.....	70
11	ANEXO	80

LISTADO DE TABLAS

Tabla 1. Índices bioclimáticos durante el período de crecimiento. Valle de Calamuchita. Temporadas 2017/2018 y 2018/2019.	33
Tabla 2. Longitud de brotes final, peso de poda, índice de área foliar (IAF) y peso del despampanado en plantas de cv. Malbec en secano y con irrigación. Valle de Calamuchita, Córdoba. 2018 y 2019.	40
Tabla 3. Número de racimos, producción por planta, peso de racimo e índice de Ravaz (IR) en plantas de cv. Malbec en secano y con irrigación. Valle de Calamuchita, Córdoba. 2018 y 2019.	42
Tabla 4. Brix°, peso de baya, azúcar por baya, acidez total y pH al momento de cosecha en secano y con riego estándar (R1). Valle de Calamuchita, Córdoba. 2018.	43
Tabla 5. Peso de hollejos y semillas, número de semillas y compuestos polifenólicos en hollejos y semillas de bayas cv. Malbec al momento de cosecha en secano y con riego estándar (R1). Valle de Calamuchita, Córdoba. 2018.	48
Tabla 6. Productividad del agua en secano y con riego estándar (R1) y riego previo a brotación (R2), en 2018 y 2019. Valle de Calamuchita, Córdoba.	50

LISTADO DE FIGURAS

Figura 1. Localización de las regiones vitivinícolas de Córdoba. 1: Valle de Calamuchita; 2: Valle de Traslasierras; 3: Sierras Chicas y 4: Norte Cordobés. En el detalle de la derecha se puede observar la ubicación del Valle de Calamuchita.	2
Figura 2. Representación del diseño experimental en el viñedo de cv. Malbec.	17
Figura 3. Análisis de imagen de la sombra proyectada por la canopia a través del programa GIMP 2.8.10 para la estimación del coeficiente de cultivo (k_c).	20
Figura 4. Análisis de imagen a través de la aplicación Viticanopy para la estimación del índice de área foliar (IAF)	22
Figura 5. Determinación del momento de máxima azúcar por baya (MAB)	23
Figura 6. Temperaturas máximas, mínimas, medias (°C) y precipitaciones históricas y durante las temporadas 2017/2018 y 2018/2019.	29

Figura 7. Temperatura media ($T^{\circ}m$) y grados días acumulados (GDA) desde septiembre hasta abril durante ambas temporadas.	30
Figura 8. Lluvias totales y evapotranspiración de referencia diaria (ET_0) en el viñedo en estudio durante los meses del ciclo (septiembre-abril) correspondientes a la temporada 2017-2018 y 2018-2019.....	32
Figura. 9. Evolución del coeficiente de cultivo (k_c) desde brotación hasta enero en 2017/2018.....	35
Figura 10. Evapotranspiración de referencia (ET_0), evapotranspiración del cultivo (ET_c) y lámina de agua aplicada en ambos tratamientos durante la temporada 2017/2018.....	35
Figura 11. Evolución de la conductancia estomática en plantas con riego estándar (R1) y en seco durante la temporada 2017/2018	37
Figura 12. Relación entre la conductancia estomática en plantas con riego estándar (R1) y en seco y el déficit de presión de vapor (DPV) durante la temporada 2017/2018	38
Figura 13. Evolución de la longitud de brotes en plantas de cv. Malbec en seco y con riego (R1).....	41
Figura 14. Grados brix, azúcar por baya y peso de baya en seco y con riego estándar (R1)	44
Figura 15. Azúcar por baya y ganancia diaria porcentual de azúcar por baya con riego y en seco	46
Figura 16. Acidez total y pH en seco y con riego estándar (R1).	47

1 INTRODUCCIÓN

1.1 Aspectos generales de la vitivinicultura en Calamuchita, Córdoba

Entre las diversas regiones vitivinícolas de la Argentina, la provincia de Córdoba tiene un importante valor histórico ya que el inicio de la actividad en esta provincia se remonta a cuatro siglos atrás por las misiones jesuíticas (Raymond Eder et al., 2017) . Si bien su superficie cultivada con viñedos representa el 0.1% del total del país, en los últimos años Córdoba ha experimentado una importante reconversión varietal, cambiando el paradigma de sus vinos tradicionales. Desde el año 2000 hasta la actualidad, variedades como Malbec y Cabernet Sauvignon se han impuesto sobre el variedades típicos como Isabella (híbrido de *Vitis labrusca* y *Vitis vinífera*).

Actualmente Córdoba posee 4 zonas vitivinícolas con diferencias climáticas, edafológicas y topográficas, denominadas: Sierras Chicas, Norte Cordobés, Valle de Traslasierras y Valle de Calamuchita (Figura 1). Entre el 2009-2021 la superficie de viñedos en Calamuchita aumentó de 0,89 ha a 32,9 ha. Actualmente esta superficie representa el 11,75% de las 279,8 ha totales de viñedos de Córdoba. La superficie media de los viñedos en Calamuchita es de 2,7 ha, el 100% es conducido en espaldero y la producción está destinada a la elaboración de vinos. Entre el 2000-2009 se plantó el 12% de la superficie actual de viñedos y entre el 2010-2019 el 88%. Esto representa un porcentaje alto de viñedos jóvenes de menos de 11 años. Por otro lado, el 82% de la superficie de viñedos de Calamuchita son de variedades tintos, principalmente Malbec y Cabernet Sauvignon, mientras que los variedades blancos más cultivados son Sauvignon Blanc y Chardonnay (INV, estadísticas 2020).

En 2022 en Calamuchita se produjeron 73,1 tn de uva, siendo un 85,2% de uva tinta, un 14,5% de uva blanca y un 0.3% de uva rosada, destinadas en su totalidad a la elaboración de vinos (INV, estadísticas 2022). Si bien la superficie total actual con viñedos es pequeña y la producción baja, es importante destacar que se trata de una región emergente en constante crecimiento. Además, la actividad se encuentra impulsada activamente por el desarrollo enoturístico de la región.

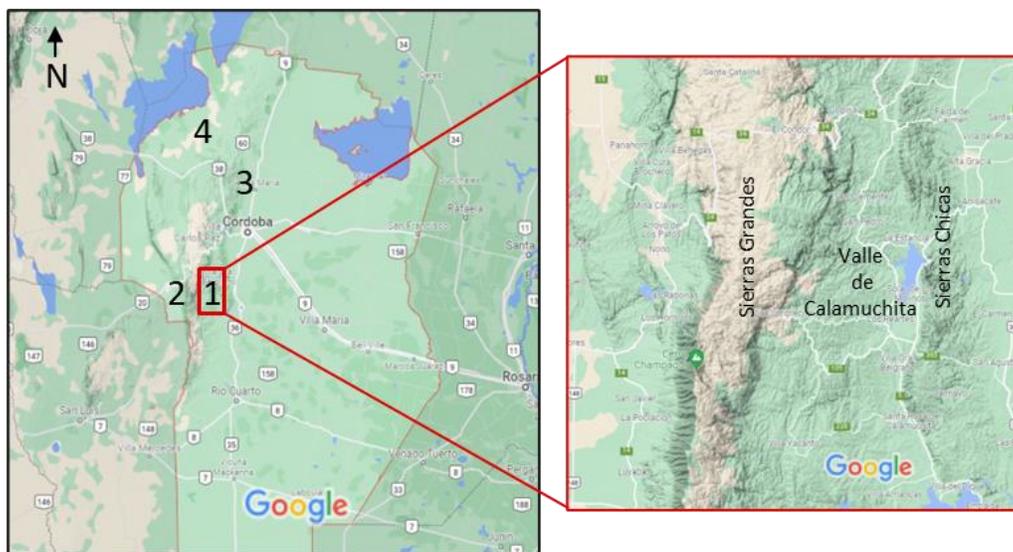


Figura 1. Localización de las regiones vitivinícolas de Córdoba. 1: Valle de Calamuchita; 2: Valle de Traslasierras; 3: Sierras Chicas y 4: Norte Cordobés. En el detalle de la derecha se puede observar la ubicación del Valle de Calamuchita.

Figure 1. Location of the wine regions of Córdoba. 1: Calamuchita Valley; 2: Valley of Traslasierras; 3: Sierras Chicas and 4: North Cordobes. In the detail on the right you can see the location of the Calamuchita Valley

1.2 Características climáticas de Calamuchita

El Valle de Calamuchita, ubicado en el Centro-Oeste de la Provincia de Córdoba, se encuentra delimitado por las Sierras Grandes al Oeste y por las Sierras Chicas al Este (Figura 1). Se caracteriza por poseer un ambiente serrano con pendientes muy pronunciadas y suaves planicies en el valle interserrano. El clima es muy variable y fuertemente controlado por el relieve y la altitud (Sanchez & Barberis, 2013). En general, la temperatura media anual es de 17°C y la amplitud térmica de 13°C. La pluviometría es de 650 mm anuales con una distribución estacional que se concentra principalmente durante los meses de octubre a marzo. Sin embargo, la topografía, entre otros elementos, determina la existencia de diferentes mesoclimas (Gorgas, 2006). Con respecto al suelo, esta región se caracteriza por la gran variabilidad edáfica determinada por un relieve muy variable y por la diversidad de materiales. Son importantes los Ustorthentes y los Udorthentes, pero también lo son los Hapustoles y Hapludoles (Sanchez & Barberis, 2013).

El clima es un factor determinante de la calidad de los vinos de las diferentes regiones vitivinícolas. Las temperaturas (diurnas y nocturnas) juegan un papel importante en la

maduración de las bayas, influyendo en la acumulación de azúcares (Buttrose et al., 1971; Kliewer 1973), la composición de ácidos orgánicos, el pH, la síntesis y degradación de compuestos fenólicos (Coombe, 1992; Spayd et al., 2002a; Tomasi et al., 2003) y los aromas (Calò et al., 1995). El contenido de agua en el suelo también afecta la calidad de la uva y del vino. Las zonas con elevadas precipitaciones suelen presentar condiciones que pueden ser perjudiciales para la maduración de la fruta (Tonietto & Carbonneau, 2004). Gran cantidad de trabajos previos sobre la influencia del clima en la vitivinicultura han permitido elaborar índices bioclimáticos, los cuales permiten describir y delimitar la aptitud vitícola de distintas zonas (Fregoni & Gatti, 2007). Estos índices tienen en cuenta elementos del clima que impactan sobre la fisiología de la planta y los procesos de maduración de las bayas y son fundamentales para determinar el potencial vitivinícola de zonas nuevas (Tonietto & Carbonneau, 2004). Hasta el momento no se ha realizado una caracterización del Valle de Calamuchita a través de índices bioclimáticos, para conocer su potencial vitivinícola y compararlo con otras zonas.

A diferencia de las regiones tradicionales vitivinícolas de Argentina como Mendoza o San Juan, Calamuchita presenta un elevado registro de precipitaciones durante el ciclo vegetativo de la vid. El manejo del cultivo bajo estas condiciones climática ha sido, en los últimos años, un gran desafío para muchos viticultores de la región, principalmente por el manejo fitosanitario y la irrigación. Si bien la mayoría de los viñedos poseen riego por goteo, aún no se han desarrollado estudios científicos que determinen el manejo adecuado de la irrigación para esta zona. Incluso tampoco se ha evaluado la posibilidad de llevar a cabo una viticultura en secano (aporte de agua sólo por lluvias), como una alternativa sustentable que permita la preservación del recurso hídrico y energético. Uno de los desafíos para las distintas zonas vitícolas de Córdoba, y en particular para Calamuchita, pasa por adecuar las distintas prácticas de manejo de cultivo a sus condiciones agroclimáticas.

1.3 Estado hídrico y respuesta de la vid

El estado hídrico influye en el comportamiento fisiológico de la planta, sobre el crecimiento vegetativo, el tamaño de las bayas, el rendimiento y sobre la síntesis y concentración de diversos compuestos de importancia enológica como son los azúcares, ácidos, polifenoles y aromas (Chaves et al., 2007; Fernandes de Oliveira et al., 2013; Jackson

& Lombard, 1993; Keller et al., 2006; Mirás-Avalos et al., 2016). Varios estudios han determinado que un manejo inadecuado del riego puede llevar ya sea a una falta de agua en el cultivo afectando la sostenibilidad del viñedo, o por el contrario a una aplicación de agua en exceso lo que produciría una disminución en la calidad de las bayas (Jones 2004; Van Leeuwen et al., 2009). En este sentido, conocer el estado hídrico de las plantas es fundamental para determinar la necesidad y oportunidad de riego. Mantener el viñedo en un adecuado estado hídrico a lo largo de toda la temporada permite lograr un equilibrio entre el desarrollo vegetativo y el rendimiento, favoreciendo el microclima de la canopia, la sanidad de la uva y su composición química (Dry et al., 2001; Chaves et al., 2007; Intrigliolo & Castel, 2008; Casassa et al., 2015; Dayer et al., 2015)

1.3.1 Estado hídrico y crecimiento vegetativo

El estado hídrico influye sobre el funcionamiento fisiológico de la planta e impacta, positiva o negativamente en la calidad de las bayas (Bravdo et al., 1985; Dokoozlian & Kliewer, 1996). Es de conocimiento que el estrés hídrico tiene una gran influencia en el crecimiento de los brotes y que, en general, el crecimiento vegetativo es más sensible al estrés hídrico que el crecimiento de las bayas (Dry et al., 2001). Existe un modelo teórico presentado por Carbonneau (1998) sobre la evolución de la fotosíntesis, el vigor y el carbono disponible en la planta cuando es sometida a niveles crecientes de restricción hídrica. En una situación de abundancia de agua (suelo en capacidad de campo) la actividad fotosintética es máxima, pero el carbono disponible para la alimentación del racimo es escaso dado que se destina principalmente para el crecimiento vegetativo. Las plantas en esta situación presentan un exceso de vigo y problemas fitosanitarios asociados al microclima generado por la canopia (Haselgrove et al., 2000a; Dry et al., 2001). A medida que la restricción hídrica avanza el crecimiento vegetativo se reduce más que la fotosíntesis, generando a su vez un aumento en la disponibilidad de carbono, hasta llegar a un máximo que se corresponde con una restricción hídrica moderada. En estas condiciones la actividad fotosintética no es afectada mientras que el vigor disminuye de manera considerable y la acumulación de azúcares y polifenoles es estimulada (Bravdo et al., 1985). Restricciones hídricas excesivas reducen la fotosíntesis, limitando consecuentemente el carbono disponible, disminuyendo el rendimiento y afectando la calidad de la uva.

La restricción hídrica tiene efectos sobre el crecimiento vegetativo durante la misma temporada, pero también puede afectar el desarrollo la temporada siguiente si tiene efectos negativos sobre la acumulación de reservas en los órganos perennes de la planta (tronco, brazos y raíces). Hay evidencias que el crecimiento vegetativo, expresado como peso de poda, está correlacionado negativamente con el nivel de estrés a que fue sometida la planta la temporada anterior, indicando un efecto sobre las reservas acumuladas (Stevens et al., 1995; Dayer et al., 2013).

1.3.2 Estado hídrico y crecimiento de la baya

El desarrollo de las bayas comprende 3 fases con dos períodos de crecimiento sigmoideal: una primera fase de crecimiento rápido (desarrollo en verde), una segunda fase estacionaria o de latencia, y una última fase de maduración y crecimiento en tamaño (Coombe 1992).

La primera fase se inicia con el cuaje de las bayas y dura aproximadamente 45 a 60 días. Este período se caracteriza por una rápida división celular, inducida por las hormonas auxinas y giberelinas, seguida de alargamiento celular. Durante esta etapa se acumulan mayoritariamente los ácidos málico y tartárico y los taninos (Ruffner, 1982). Al comienzo de la segunda fase, se detiene el crecimiento en la mayoría de los tejidos de la baya, a excepción de la semilla. Se producen cambios físicos tales como la acumulación de pruina sobre la epidermis del hollejo, disminuye la transpiración, el floema comienza a ser la principal vía de entrada de agua y otros compuestos, y aumenta el flujo de potasio respecto de otros iones (Creasy et al., 1993). Sobre el final de esta fase se produce el envero, las bayas comienzan a ablandarse y a perder clorofila, siendo estos los principales indicadores de la transición a la tercera fase de desarrollo. El rápido incremento de glucosa durante esta etapa es acompañado por la síntesis de antocianinas (Kennedy et al., 2001). Este proceso de cambio de coloración de la baya denominado “envero o pinta” indica el inicio de la maduración. A partir de este momento, el transporte de agua y azúcares hacia la baya se realiza a través del floema (Coombe & McCarthy, 2000) mientras que el xilema actúa como “válvula de escape” del exceso de agua que ingresa a la baya (Keller et al., 2006). La tercera fase de desarrollo o maduración de la baya, implica una serie de cambios significativos en el metabolismo inducidos, en gran parte, por el ácido abscísico (ABA; Çakir et al., 2003) y en menor medida

por el etileno (Hale et al., 1970). Estos cambios se caracterizan por: acumulación de azúcares, ablandamiento del exocarpo, expansión celular, síntesis de antocianinas en hollejos de uvas tintas, reducción de los niveles de ácido málico, síntesis de compuestos odorantes, acumulación de aminoácidos, síntesis y transporte de fitohormonas y sustancias de crecimiento, entre otros (Coombe, 1976; Nunan et al., 1998; Barnavon et al., 2000; Giovannoni, 2001; Deluc et al., 2007).

Con respecto a la evolución de los compuestos flavonoides, generalmente los antocianos alcanzan un máximo antes de la cosecha y disminuyen hacia el final del proceso de maduración (Kennedy et al., 2002; Peña-Neira et al., 2004; Fournand et al., 2006). En cuanto a las proantocianidinas, en semillas se produce una disminución desde el envero relacionada con procesos oxidativos, generando cambios en la tonalidad (coloración parda) y disminución de la astringencia al momento de cosecha (Kennedy et al., 2002; Ristic and Iland, 2005). Mientras que, en hollejos, la concentración de proantocianidinas disminuye lentamente o se mantiene constante durante la maduración, produciéndose un aumento en el grado de polimerización (Harbertson et al., 2002; Kennedy et al., 2001).

El impacto de la restricción hídrica sobre crecimiento y la composición química de la baya depende del estado fenológico en el cual se lleve a cabo la restricción hídrica (Smart, 1974; Becker & Zimmermann, 1984; Matthews et al., 1987; McCarthy, 1997). En el período comprendido entre cuaje y envero, el tamaño de la baya es particularmente sensible a los efectos de una restricción hídrica, siendo mayor la reducción mientras más intenso sea el déficit hídrico. Durante este lapso los efectos de las restricciones sobre el crecimiento de la baya son generalmente irreversibles, aún si la restricción es interrumpida a partir de enero (Ojeda et al., 2001). Durante el período comprendido entre enero y madurez la influencia de la restricción hídrica sobre el tamaño de la baya es menor en comparación con una restricción de la misma intensidad en el período comprendido entre antesis y envero (Becker & Zimmermann, 1984; Smart, 1974; Naur et al., 1994a; McCarthy, 1997; Ojeda et al., 2001). En ocasiones la reducción del peso es temporal y las bayas pueden recuperar su tamaño si la restricción se suprime, e incluso puede no ser sensible a la alimentación hídrica en el mes anterior a cosecha (Combe & McCarthy, 2000; McCarthy, 1997). Por el contrario, un exceso de agua, aplicado por riego o lluvias durante la maduración de las bayas, puede aumentar el rendimiento por incremento en el tamaño de las bayas y generar un efecto negativo en la

calidad debido a un retraso en la maduración, menor concentración de azúcar y polifenoles, mayor acidez y el posible desarrollo de enfermedades criptogámicas (Bravdo et al., 1985a; Esteban et al., 2001; Hepner et al., 1985; Matthews et al., 1990; Togores, 2010).

1.3.3 Estado hídrico y composición de la baya

Uno de los principales factores que determinan la calidad de la uva para la elaboración de vinos tintos, es su contenido de polifenoles (Adams, 2006; Disney et al., 2006; Nadal & Arola, 1995). Estos compuestos se acumulan principalmente en los hollejos y en las semillas (Adams, 2006) y cumplen un rol importante en la formación del color, la astringencia, la estructura y otras características del vino (Adams, 2006; Bravdo et al., 1985; Kennedy et al., 2006). La disponibilidad de agua durante el crecimiento de la baya influye sobre su composición a nivel de sólidos solubles, acidez total, pH y compuestos fenólicos (Peterlunger et al., 2002).

Los compuestos fenólicos se clasifican en no flavonoides y flavonoides (Vila, 2002). Dentro de los primeros, que se localizan en la pulpa, se encuentran los ácidos hidroxicinámicos, hidroxibenzoicos, los estilbenos y el resveratrol. Mientras que los flavonoides se encuentran en hollejos, escobajo y semillas y se dividen a su vez en antocianos, flavan-3-oles y flavonoles. Los antocianos se ubican principalmente en las vacuolas de las células del hollejo y están formados por antocianidinas (cianidina, peonidina, delfinidina, malvidina, etc.) y son los responsables del color en los vinos tintos. Sus contenidos dependen del cepaje, de las condiciones ambientales y de las prácticas de manejo. Los flavonoles se encuentran en hollejos y están constituidos por quercetina, kaempferol, miricetol, entre otros. Están asociados a los gustos amargos y poseen un fuerte efecto en la estabilidad del color a través de fenómenos de copigmentación. Por último, los flavanoles o flavan-3-oles se encuentran ubicados en diferentes tejidos de la planta de vid (madera, hojas, escobajo) y en las partes sólidas de la baya (hollejo y semilla), como monómeros o formando oligómeros y polímeros conocidos con el nombre de proantocianidinas o taninos condensados. Estos compuestos son sintetizados durante la etapa de crecimiento herbáceo de la baya hasta envero. En uvas y vinos, el contenido de proantocianidinas es muy superior a la concentración de las unidades monoméricas (Kennedy et al., 2006). Desde el punto de vista sensorial, poseen propiedades gustativas (amargor) y táctiles (astringencia), e

intervienen en la estabilización del color a través de reacciones de copigmentación y/o condensación con los antocianos.

En cuanto a la evolución de los distintos compuestos fenólicos durante el proceso de crecimiento de la baya, generalmente el contenido de los compuestos no-flavonoides aumenta hasta el envero para luego disminuir durante la maduración (Romeyer et al., 1983; Obreque-Slier et al., 2010). Respecto a los flavonoides, el nivel máximo de antocianinas se alcanza dos o tres semanas antes de la cosecha, disminuyendo en forma sostenida hacia el final del proceso de maduración (Figura 2; Kennedy et al., 2002; Peña-Neira et al., 2004; Fournand et al., 2006). Los flavonoles suelen mostrar una tendencia similar (Brar et al., 2008; Peña-Neira et al., 2004), mientras que las proantocianidinas se comportan diferencialmente de acuerdo al tejido involucrado. En el caso de las semillas, hay una disminución desde el envero relacionada con procesos de oxidación (Kennedy et al., 2000; Ristic & Iland, 2005), generando un cambio de coloración hacia tonalidades pardas y contribuyendo a una reducción de la astringencia de las uvas al momento de cosecha. Mientras que, en hollejos la concentración de proantocianidinas disminuye levemente o permanece constante durante la maduración de la baya, aumentando el grado de polimerización (Kennedy et al., 2001; Harbertson et al., 2002).

Ante un déficit hídrico se observan dos tipos de respuestas: (1) una indirecta mediada por un lado por la exposición de los racimos a la radiación (a través de modificaciones en la arquitectura de la canopia) y por el tamaño de la baya lo cual influye en la concentración (Roby et al., 2004), y (2) otra directa a través de la biosíntesis de compuestos polifenólicos que puede aumentar o disminuir de acuerdo al tipo de compuesto, a la intensidad de la restricción hídrica y al estado fenológico en la que se produzca el déficit (Matthews et al., 1990; Ojeda et al., 2002).

En cuanto al peso de la baya, se produce una disminución como consecuencia de la restricción hídrica debido principalmente a una reducción del peso de la pulpa mientras que el peso del hollejo es afectado en menor medida. Por lo tanto, una variación en la proporción de hollejos y semillas en relación con la pulpa afecta positivamente la concentración de componentes polifenólicos en el mosto (Roby et al., 2004). Por otro lado, una mayor disponibilidad de agua, ya sea proveniente del riego o de lluvias, aumenta el rendimiento a través de un incremento en el tamaño de las bayas. Este aumento del tamaño de baya puede

generar un efecto, debido por un lado una menor relación hollejo/pulpa y por otro e debido a un excesivo crecimiento vegetativo lo cual genera un microclima desfavorable (Bravdo et al., 1985; Esteban et al., 2001; Hepner et al., 1985; Matthews et al., 1990).

La iluminacion también tiene una influencia en la biosíntesis de los compuestos acumulados en la baya (Togores, 2010). La exposición a la luz solar y a la temperatura son factores importantes que influyen en la composición fenólica de las bayas (Spayd et al., 2002b; Togores, 2010). La luz y su incidencia en los racimos de uva, inducen significativamente la acumulación de flavonoides (Cortell and Kennedy, 2006). A su vez, el efecto de la temperatura en la síntesis de flavonoides está vinculado al manejo cultural del viñedo (mayor exposición de los racimos) y conducción del follaje de las plantas. Las temperaturas diurnas y nocturnas moderadas (15-25 °C) favorecen la biosíntesis y acumulación de antocianinas en hollejos (Buttrose et al., 1971b; Mori et al., 2005), mientras que temperaturas elevadas (> 35 °C) podrían afectar la acumulación de estos compuestos a través la inhibición en su biosíntesis, conjuntamente con un fenómeno de degradación (Mori et al., 2005). El incremento en la concentración de polifenoles en el hollejo por efecto directo del déficit hídrico, ha sido indicado por diversos autores (Matthews & Anderson, 1988; Ojeda et al., 2002; Roby et al., 2004; Downey et al., 2006). Existen diferentes mecanismos que podrían explicar este efecto. Por una parte, el déficit hídrico podría incrementar la biosíntesis de antocianos como consecuencia del aumento en la concentración de sólidos solubles en la baya (Kliewer, 1971; Bravdo et al., 1985; Kennedy et al., 2002; Roby et al., 2004) . Por otro lado, en las primeras etapas del envero, el déficit hídrico puede generar un incremento en los niveles de ácido absícico en la baya por traslocación desde otros tejidos de la planta (Okamoto et al., 2004) , lo que podría estimular también la síntesis de antocianos en el hollejo (Downey et al., 2006). Ojeda et al. (2002), determinaron que la biosíntesis de antocianos es limitada cuando la restricción hídrica es fuerte entre cuaje y envero, y estimulada ante una restricción similar, pero entre envero y madurez. A su vez, la biosíntesis de taninos totales es reducida por una restricción hídrica fuerte entre cuaje y envero, mientras que la restricción hídrica tardía luego del envero no impacta en la síntesis.

1.4 Determinación del estado hídrico de las plantas

Existen diferentes indicadores para conocer el estado hídrico del viñedo, los cuales son variados y van desde los que evalúan el contenido de agua en el suelo hasta determinaciones directas sobre la planta. Estos indicadores permiten llevar a cabo un correcto manejo del riego, lograr un adecuado desarrollo vegetativo, obtener bayas de alta calidad y alcanzar un uso sostenible y eficiente del agua (Cifre et al., 2005). El método habitualmente más utilizado, es el potencial hídrico foliar, medido en pre-amanecer o al medio día (Williams & Araujo, 2002). Sin embargo, algunos autores han determinado que la conductancia estomática (g_s) es un indicador más preciso del estado hídrico que el potencial hídrico ya que integra la respuesta de la planta a distintos factores del ambiente (Cifre et al., 2005; Jones, 2004). Incluso se ha observado una buena relación entre ambos indicadores (Cifre et al., 2005; Gamon & Pearcy, 1990; Liu et al., 1978; Naor et al., 1994; Naor & Wample, 1994; Rodrigues et al., 1993). El cierre de los estomas es uno de los primeros procesos que ocurre en las hojas como respuesta a la sequía (Chaves et al., 2003; Jones, 2004) y se produce con un déficit hídrico de suelo relativamente bajo en muchos cultivares de vid (Cifre et al., 2005). Esta regulación de g_s , se debe a variaciones en la conductancia hidráulica de la planta y a la síntesis de ácido abscísico (ABA) en las raíces, que se transporta a las hojas estimulando el cierre estomático (Dry & Loveys, 1998; Lovisolo et al., 2002). Dicha respuesta, al generarse incluso ante niveles de sequía leves, permite utilizar la conductancia estomática como un indicador preciso del estado hídrico de la planta (Cifre et al., 2005; Jones, 2004). A pesar que el potencial hídrico foliar es un indicador muy utilizado para determinar el estado hídrico, la variación en el funcionamiento fotosintético y la transpiración está más relacionada con los valores de conductancia estomática (Flexas et al., 2002). En consecuencia, algunos autores proponen utilizar los valores de g_s para medir la intensidad del déficit y el estado hídrico de las plantas (Flexas et al., 2002). Cifre et al. (2005), establecieron tres niveles de déficit hídrico en función de los valores de g_s que resultan útiles para determinar el estado hídrico del viñedo :

1- **Déficit hídrico débil:** definido para un rango desde valores de g_s de 500–700 hasta 150 $\text{mmol H}_2\text{O}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$. En esta etapa, el cierre estomático es leve y es probablemente la única limitación a la fotosíntesis.

2- **Déficit hídrico moderado:** caracterizado por valores de g_s intermedios, cuyo rango varía desde 150 a 50 $\text{mmol H}_2\text{O}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$. En esta fase, las limitaciones estomáticas parecen dominantes y la fotosíntesis se revierte rápidamente con el riego (Flexas et al., 1999), pero comienzan a desarrollarse limitaciones no estomáticas (Flexas et al., 2002; Maroco et al., 2002; Naor et al., 1994).

3- **Déficit hídrico severo:** determinado por valores de g_s muy bajos, inferiores a 50 $\text{mmol H}_2\text{O}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$. En esta fase, la fotosíntesis no se recupera después del riego (During, 1988; Quick et al., 1992), lo que indica que la inhibición no estomática es dominante. En esta fase se observa una disminución general de la actividad y cantidad de enzimas fotosintéticas (Flexas et al., 2004; Maroco et al., 2002).

1.5 Antecedentes de irrigación en regiones lluviosas

Generalmente la vitivinicultura en nuestro país se concentra en regiones de clima árido y semiárido, sin embargo, a nivel mundial existen zonas vitivinícolas con mayor nivel de precipitaciones, en donde el riego tiende a ser una herramienta menos utilizada. Los estudios sobre el manejo del riego en regiones lluviosas son recientes y escasos (Cancela et al., 2016; Mirás-Avalos et al., 2016a), la mayoría de ellos se han llevado a cabo en algunas zonas de Galicia, España. Allí las precipitaciones anuales son elevadas (700 a 1900 mm), incluso durante el ciclo de la vid (600-800 mm; Cancela et al., 2016). En estas regiones la utilización del riego ha crecido en los últimos años debido a la variación en la distribución espacial y temporal de las lluvias (Cruz et al., 2009; Mirás-Avalos et al., 2012), llevando a que los viticultores busquen rendimientos estables a lo largo de los años (Gouveia et al., 2012). En estas regiones, la respuesta tanto agronómica como enológica, ante condiciones de riego y secano, están fuertemente relacionadas a las condiciones del año y del varietal en estudio (Gouveia et al., 2012). Esta respuesta diferencial de la variedad es reflejada en diversos estudios. De esta manera, se ha determinado que el cv. Treixadura presenta mayor producción en plantas con riego, en comparación al secano. Sin embargo, el cv. Albariño no presenta diferencias significativas bajo ningún tratamiento; mientras que el cv. Godello manifestó mayor crecimiento vegetativo y más producción en plantas de secano (Mirás-Avalos et al., 2012). En cuanto a la respuesta enológica, sólo en cv. Godello las bayas de secano presentaron mayor acidez y menor pH. Por otro lado, Trigo et al. (2014) determinaron

que el riego en el cv. Sousón provoca una disminución significativa en el rendimiento de las plantas en comparación al tratamiento de secano; mientras que la calidad de las bayas es la misma para ambos tratamientos. A su vez, Cancela et al. (2016) determinaron que en el cv. Albariño el agua aportada por las lluvias es suficiente para el correcto desarrollo de las plantas ya que no se manifiestan diferencias ni en el estado hídrico ni en el rendimiento ante condiciones de riego y de secano. Con respecto a la calidad de las bayas, estos autores determinaron que existe una tendencia a valores más bajos del grado alcohólico probable e incrementos en la acidez total en los tratamientos con riego (Trigo et al., 2014; Cancela et al., 2016). En Argentina, existen antecedentes en cuanto al manejo del riego y el impacto del déficit hídrico sobre la composición química de la uva y el vino (Vallone et al., 1997; Clément, 2011; Deis et al., 2011; Dayer et al., 2013, 2016). Estos trabajos se han realizado en Mendoza, donde el riego es indispensable para la agricultura, pero sus resultados no son extrapolables a las condiciones agroclimáticas de Córdoba. Es importante, por lo tanto, desarrollar estrategias de riego y/o de manejo del estado hídrico del viñedo adaptadas a estas nuevas zonas productoras. No existen antecedentes en Córdoba sobre el manejo del riego en viñedos basados en mediciones del estado hídrico de las plantas.

1.6 Productividad del agua en zonas húmedas

El calentamiento global, el aumento en la población mundial, la menor disponibilidad de agua para uso agrícola y la mayor demanda para otros usos generan la necesidad de aumentar la eficiencia en el uso del agua a distintos niveles. Para ello, es fundamental optimizar el manejo del riego determinando de manera precisa la cantidad de agua necesaria a aplicar en diferentes cultivos y regiones, incluso aquellas con climas húmedos y fríos (dos Santos et al., 2007; Leeuwen et al., 2009; Reynolds et al., 2007). La productividad del agua (PA), definida como la relación entre el rendimiento del cultivo y el uso total del agua ($\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$) (Cancela et al., 2016), es una manera de evaluar el uso, ahorro y conservación del agua en viñedos de climas mediterráneos y semiáridos (Medrano et al., 2015; Teixeira et al., 2007). Sin embargo, algunos autores han determinado que en regiones atlánticas o húmedas, la vid utiliza el agua de lluvia también para su crecimiento vegetativo (Cancela et al., 2015; Pereira et al., 2012). Ante esto, Cancela et al. (2016) propusieron una modificación, sumando el peso de poda al rendimiento, lo que permite incorporar el

crecimiento vegetativo en su cálculo, reflejando de manera más precisa lo que ocurre en zonas húmedas y estimar la productividad del agua en estas zonas.

El propósito de este trabajo fue comparar la producción bajo riego y en secano en un viñedo de cv. Malbec, en el Valle de Calamuchita, Córdoba. Si bien las condiciones climáticas de la zona son adecuadas para un cultivo en secano (elevado nivel de precipitaciones durante el ciclo), los productores de la zona aplican riego sin base científica. Es importante, por lo tanto, generar información local que permita conocer a través de indicadores fisiológicos, la respuesta en cuanto a rendimiento, crecimiento vegetativo y madurez de la uva en condiciones de secano, en comparación con el riego realizado de forma tradicional. Esto permitirá evaluar los efectos de llevar adelante un cultivo en secano, en una zona emergente, donde la información es escasa pero el crecimiento del sector es acelerado.

2 HIPOTESIS

2.1 Hipótesis General

Las condiciones agrometeorológicas en el Valle de Calamuchita (Córdoba) permiten el cultivo de la vid (cv. Malbec) sin riego suplementario, sin producir disminuciones en el rendimiento en el corto y mediano plazo y sin cambios en la composición fisicoquímica de la producción.

2.2 Hipótesis específicas

- El cultivo en secano no genera una disminución de la conductancia estomática ni del crecimiento vegetativo respecto a plantas con riego suplementario.
- El cultivo en secano no genera una disminución de rendimientos respecto a plantas con riego durante el ciclo vegetativo debido a que no se afecta negativamente ningún componente del rendimiento.
- El riego suplementario durante el ciclo vegetativo produce una disminución de la productividad del agua, ya que no se produce un aumento en el rendimiento en comparación con el secano.

- El manejo del cultivo en secano no produce cambios en la maduración ni en la composición polifenólica de las bayas en comparación con plantas con riego suplementario durante el ciclo vegetativo.
- El riego previo a la brotación genera un aumento en la producción de las plantas en comparación con el secano.

3 OBJETIVOS

3.1 Objetivo general

Contribuir a un manejo eficiente y razonado del recurso hídrico en viñedos del cv. Malbec bajo las condiciones agrometeorológicas del Valle de Calamuchita (Córdoba).

3.2 Objetivos específicos

- Determinar el impacto del riego suplementario y del cultivo en secano sobre la conductancia estomática a lo largo del ciclo.
- Determinar el crecimiento vegetativo (longitud de brotes, índice de área foliar y peso de poda) y los componentes del rendimiento (peso de baya, n° de bayas por racimo, n° de racimos, peso de racimo y kg por planta) en plantas en secano y con riego suplementario.
- Determinar la composición química de la uva (° Brix, pH, acidez y polifenoles) proveniente de plantas en secano y con riego.
- Determinar la productividad del agua, en términos de rendimientos (kg de uva por m³ de agua de riego aplicado), en plantas con riego y en secano.

4 MATERIALES Y MÉTODOS

4.1 Sitio y material vegetal

El estudio se realizó durante las temporadas 2017/2018 y 2018/2019 en un viñedo implantado con el cv. Malbec (clon Perdriel), perteneciente a la empresa Vista Grande (31°52'54.0"S 64°32'18.2"W), ubicada en el Valle de Calamuchita, Córdoba. El suelo del viñedo donde se realizó el experimento tiene buen drenaje, sin peligro de anegamiento, con una profundidad aproximada de 1,2 m, con un horizonte superior de textura franca y

contenido moderado de materia orgánica (1,9%). Luego continúa con un segundo horizonte de textura franca limosa, pasando a un horizonte más profundo que contiene carbonato de calcio diseminado en la masa del suelo (Visor GeoINTA). El viñedo se implantó en 2012, las plantas están injertadas sobre pie SO4, con una orientación de hileras N-S y un marco de plantación de 2,5 m entre hileras y 1,5 m entre plantas (2666 plantas por hectárea). El viñedo está conducido en espaldero, podado en cordón bilateral con 9 pitones por m lineal de canopia (18 yemas por m lineal) y brotes conducidos verticalmente. Las plantas están protegidas con tela antigranizo instalada bajo el sistema de grembiule. El riego es por goteo, con un caudal por gotero de 4 Lh⁻¹ instalados cada 1,5 m. Las precipitaciones en la zona son abundantes, con una media de 600 mm anuales (Sánchez & Barberis, 2013) y se concentran en los meses estivales coincidentes con el ciclo de la vid. El plan de fertilización de la empresa es la aplicación de urea a través del sistema de riego, durante el período comprendido entre brotación y floración. El manejo fitosanitario es principalmete preventivo a través de pulverizaciones con cobre y azufre desde el comienzo de las precipitaciones y cada 15 días dependiendo la frecuencia de las lluvias.

4.2 Tratamientos y diseño experimental

Los tratamientos correspondieron a dos regímenes hídricos establecidos durante la temporada 2017/2018: cultivo en secano (S) sin riego durante toda la temporada, y el riego estándar (R1) aplicado por la empresa comercial en la finca, el cual consiste en aplicar aproximadamente 200 mm de forma regular durante toda la temporada. En la temporada siguiente, 2018/2019, se evaluaron dos tratamientos: el tratamiento de cultivo en secano (S), el cual se repitió sobre las mismas plantas del año anterior, y un tratamiento con riego previo a la brotación (R2) sobre las plantas que anteriormente habían sido sometidas al tratamiento R1. El tratamiento R2 fue diseñado como una alternativa de riego debido a la irregularidad en la distribución de las precipitaciones, principalmente en primavera. Generalmente la época de sequía en el Valle de Calamuchita coincide con los meses de invierno (durante el período de latencia de la vid). Sin embargo, en los últimos años, se ha registrado una continuidad de la estación seca durante la primavera (brotación), hasta aproximadamente noviembre-diciembre. Por lo que la aplicación de agua a través del riego antes de la brotación de la vid,

puede considerarse de importancia para minimizar el impacto de la sequía durante los meses primaverales.

El experimento se dispuso en un diseño en bloques completos aleatorizado con cinco repeticiones para cada uno de los tratamientos, conformando en total 10 parcelas (Figura 2). La unidad experimental estuvo conformada por una hilera central y dos laterales de 10 plantas cada una (30 plantas por parcela). Las determinaciones se realizaron sobre las cinco plantas centrales de cada parcela, dejando las dos hileras contiguas como borduras. Inicialmente y con el objetivo de elegir parcelas homogéneas, se delimitaron 19 parcelas, se calculó en cada una el índice de Ravaz (IR) a partir de los valores de producción y peso de poda por planta determinados la temporada anterior al experimento (2016/2017). Se descartaron aquellas parcelas con valores extremos de IR y se seleccionaron las 10 parcelas con menor coeficiente de variación entre plantas. Posteriormente se agruparon en cinco bloques en función de la variabilidad del IR y luego los tratamientos dentro de cada bloque fueron sorteados (Figura 2). Para homogeneizar la producción del cultivo, durante la poda se dejó el mismo número de yemas en todas las plantas (18 yemas por metro lineal de cordón) y luego de la brotación se realizó un raleo de brotes para eliminar todos aquellos que alteraran el nivel de carga. El diseño experimental se mantuvo durante las dos temporadas en que se realizaron los ensayos.

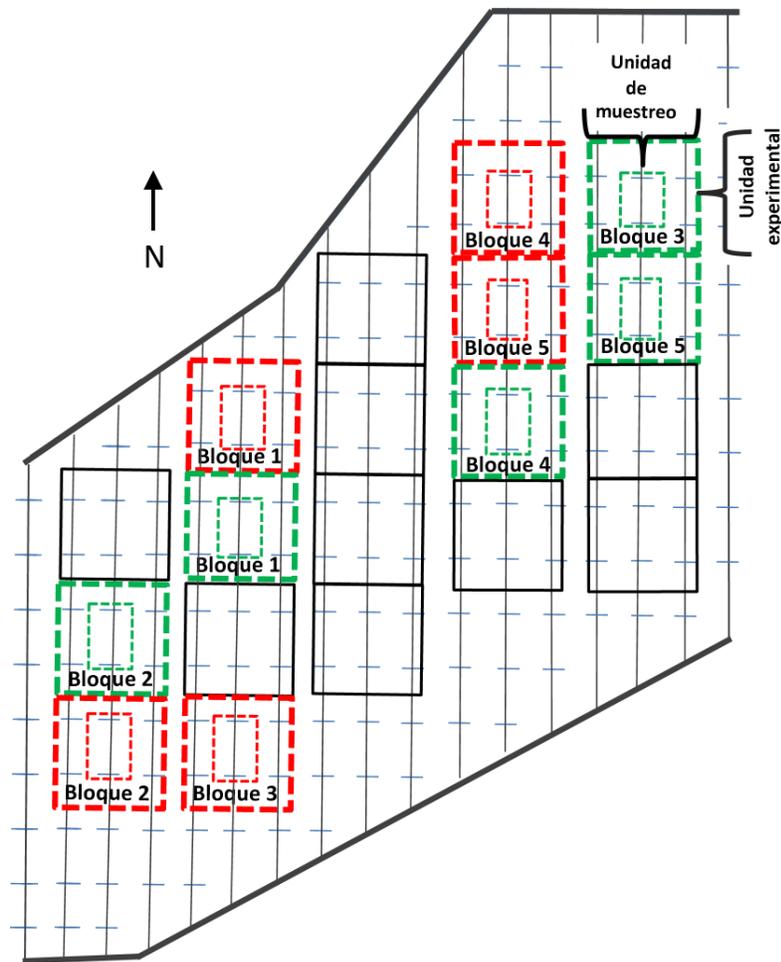


Figura 2. Representación del diseño experimental en el viñedo de cv. Malbec. Las líneas verticales simbolizan las hileras y las horizontales delimitan cada claro. Los cuadrados indican las 19 parcelas delimitadas inicialmente. Con línea de puntos se indican las parcelas seleccionadas para el experimento y agrupadas en bloques según el índice de Ravaz. Las parcelas en rojo corresponden al tratamiento de secano y en verde al tratamiento de riego. Valle de Calamuchita. Córdoba.

Figure 2. Representation of the experimental design in the cv. Malbec. The vertical lines symbolize the rows and the horizontal ones delimit each clearing. The squares indicate the 19 parcels initially delimited. The dotted lines indicate the plots selected for the experiment and grouped into blocks according to the Ravaz index. The plots in red correspond to the rainfed treatment and in green to the irrigated treatment. Calamuchita Valley. Córdoba.

4.3 Manejo del riego

El manejo usual del riego en el viñedo y en la zona consiste en la aplicación de una lámina de agua establecida de forma arbitraria. Este criterio se basa en indicadores visuales, principalmente observando el grado de compactación del suelo, empleando un barreno o pala

para definir de manera visual la necesidad de riego, sin considerar la demanda de evapotranspiración del ambiente (ET_0) ni del cultivo (ET_c). En este experimento, los riegos se aplicaron durante toda la temporada, desde el inicio de la brotación hasta la última semana de febrero (tres semanas previas a la cosecha). Este criterio generalmente es el adoptado por la gran mayoría de los viñedos de la región para impedir que aumente el tamaño de la baya y disminuyan los °Brix al momento de la cosecha.

Los tratamientos establecidos en la temporada fueron los siguientes:

- **Riego (R):** Con dos variaciones (R1 y R2) en las temporadas consecutivas. R1 fue en 2017/2019 y la lámina de agua aplicada fue siguiendo las prácticas de irrigación habitual de la empresa (200 mm en la temporada) desde brotación hasta 3 semanas antes de la cosecha. R2 fue en 2018/2019 y se llenó el perfil del suelo al 50% de la capacidad de campo (CC) 24 días previos a la brotación. Luego el riego fue suspendido.

- **Secano (S):** No se regó en toda la temporada, las plantas sólo recibieron el agua de las precipitaciones.

4.4 Mediciones realizadas

4.4.1 Caracterización meteorológica e índices bioclimáticos

Se registró diariamente la temperatura, humedad relativa, radiación solar, precipitaciones, velocidad y dirección del viento con una estación meteorológica automática (WS3800, Galileo, Italia) instalada en el viñedo. En ambas temporadas, a partir de las precipitaciones totales se calcularon las precipitaciones efectivas siguiendo el método USDA S.C. (CROPWAT 8.0; ecuación 1 y 2). Además, se obtuvieron los grados día acumulados (GDA) desde la brotación hasta la cosecha. Se calculó también el índice de Winkler (ITW), que consiste en la sumatoria de los grados día desde el 1° de octubre hasta el 30 de abril (ecuación 3), y el índice heliotérmico de Huglin (IHH), que considera las temperaturas medias y máximas medias desde el 1° de octubre hasta el 30 de marzo, y un coeficiente de longitud del día que depende de la latitud (ecuación 4). En este estudio, dicho coeficiente fue de 1 (latitud < a 40°00'") (Tonnieto & Carbonneau, 2004). También se obtuvo el índice de frescor nocturno (IF), el cual toma en cuenta las temperaturas mínimas nocturnas del mes previo a la cosecha. Se utilizó la clasificación multicriterio (Tonnieto & Carbonneau, 2004)

para caracterizar ambas temporadas. Finalmente, se calculó el índice de sequía (IS), el cual determina el potencial de maduración y de calidad de la baya en base al contenido de agua en el suelo (ecuación 5; Tonnieto & Carbonneau, 2004).

$$P_{ef} = P * (125 - 0.2 * 3 * P) / 125 \quad P \leq 25mm \quad (1)$$

$$P_{ef} = \frac{125}{3} + 0.1 * P \quad P > 250mm \quad (2)$$

$$ITW = \sum_{1^{\circ} \text{ de octubre}}^{30 \text{ de abril}} (T_{md} - 10) \quad (3)$$

$$IHH = \sum_{1^{\circ} \text{ de octubre}}^{31 \text{ de marzo}} \left[\frac{(T_{md} - 10) + (T_{xd} - 10)}{2} \right] * l \quad (4)$$

$$IS = \sum_{1^{\circ} \text{ de octubre}}^{31 \text{ de marzo}} [W_0 + P - T_v - E_s] \quad (5)$$

$$T_v = ET_0 * k \quad (6)$$

$$E_s = \frac{ET_0}{N} (1 - k) * J_{Pm} \quad (7)$$

P: Precipitaciones totales

P_{ef}: Precipitaciones efectivas

T_{md}: Temperatura media diaria

T_{xd}: Temperatura máxima diaria

l: Coeficiente de longitud del día

W₀: Reserva inicial de agua en el suelo (valor de referencia = 200mm, Tonnieto & Carbonneau, 2004)

ET₀: Evapotranspiración de referencia

k: Valor adoptado para el Hemisferio Sur, $k = 0.1$ para octubre, 0.3 para noviembre y 0.5 para los meses de diciembre a marzo (Tonnieto & Carbonneau, 2004)

N: Número de días del mes

J_{Pm}: precipitación por mes en mm/5

4.4.2 Coeficiente de cultivo (k_c) y evapotranspiración de cultivo

La evapotranspiración potencial de referencia (ET_0) se calculó a través de la fórmula de Penman-Monteinth (Allen et al., 2006) con la aplicación *ET₀ calculator* (FAO, Roma, Italia, 2012) utilizando un macro de Excel desarrollado en la Facultad de Ciencias Agrarias (José Morábito, comunicación personal). Durante la temporada 2017/2018, se determinó el coeficiente de cultivo (k_c) a partir de la sombra proyectada por la canopia (Williams & Ayars, 2005). Las determinaciones se realizaron en 6 momentos diferentes en dos plantas por unidad experimental desde brotación hasta el envero, momento a partir del cual la canopia

permaneció estable hasta cosecha (sin crecimiento). Las plantas seleccionadas, consideradas como unidad observacional, fueron aquellas con el IR (obtenido en la temporada anterior) más próximo al IR promedio por bloque. Se tomaron imágenes digitales de la sombra proyectada por la canopia al mediodía solar, y a través del programa GIMP 2.8.10 (Fundación GNOME, Estados Unidos, 2012) se determinó el porcentaje de área sombreada (Figura 3). Luego, se utilizó la regresión establecida por Williams & Ayars (2005) para estimar el k_c en ambos tratamientos a través del % de sombra proyectada por la canopia. En ambas temporadas de estudio, desde brotación hasta cosecha, a partir de la ET_0 y del k_c estimado en 2017/2018, se obtuvo la evapotranspiración del cultivo (ET_C).

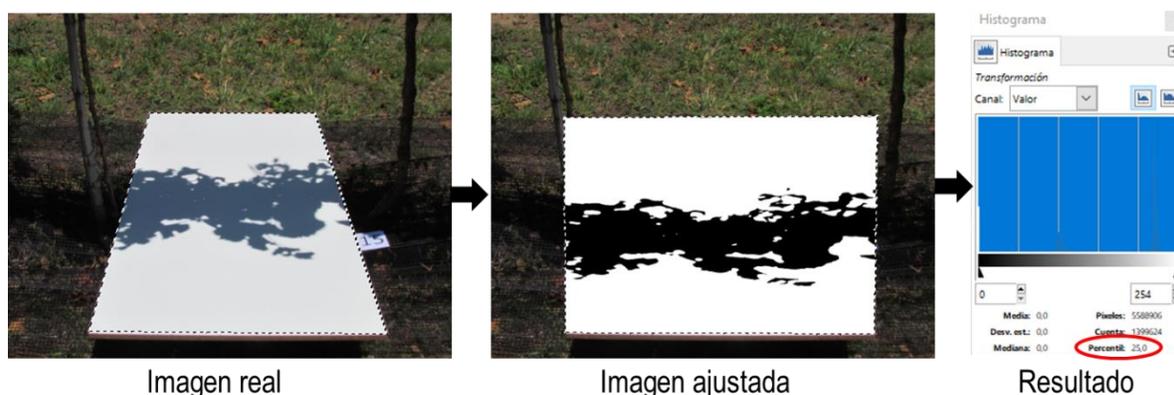


Figura 3. Análisis de imagen de la sombra proyectada por la canopia a través del programa GIMP 2.8.10 para la estimación del coeficiente de cultivo (k_c). La imagen real es la sombra de la canopia proyectada sobre una placa blanca; la imagen ajustada es la transformada por el programa para obtener como resultado el percentil de píxeles negros producto de la sombra de la canopia.

Figure 3. Image analysis of the shadow cast by the canopy through the GIMP 2.8.10 program to estimate the crop coefficient (k_c). The actual image is the shadow of the canopy projected onto a white plate; the adjusted image is the one transformed by the program to obtain as a result the percentile of black pixels produced by the shade of the canopy.

4.4.3 Conductancia estomática (g_s)

Durante la temporada 2017/2018 desde brotación hasta días previos a cosecha, se determinó cada diez días la conductancia estomática (g_s). El valor de conductancia estomática se utilizó como un método de referencia para evaluar el estado hídrico de las plantas. Se consideró que valores de g_s mayores a $200 \text{ mmol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ reflejan plantas sin déficit hídrico, valores entre $200\text{-}50 \text{ mmol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$, una restricción hídrica de leve a moderada y valores de g_s menores a $50 \text{ mmol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$, una restricción severa (Carbonneau, 1998;

Medrano et al., 2002; Cifre et al., 2005). Se utilizó un porómetro SC-1 Leaf Porometer (Decagon devices, Pullman, USA) y las mediciones se realizaron a media mañana (aproximadamente entre las 10 am y las 12 pm) para obtener el valor máximo (Flexas et al., 2009). Las mediciones se realizaron en cuatro hojas adultas, sanas y totalmente expuestas del tercio medio de las cinco plantas centrales de cada unidad experimental. Las hojas seleccionadas estaban totalmente expandidas, con orientación al Este y expuestas directamente a la radiación. En total se realizaron 20 mediciones de g_s por tratamiento por fecha. En la primera determinación realizada el 9 de octubre de 2017, se hicieron tres lecturas de g_s en la misma hoja para comprobar que no hubiese variabilidad dentro de la misma hoja debido a un cierre/apertura parcial de los estomas. Dado que los valores registrados eran similares, se decidió realizar una sola lectura por hoja

4.4.4 Crecimiento vegetativo

Durante la temporada 2017/2018, desde brotación hasta envero, se midió la longitud de ocho brotes elegidos al azar, de dos plantas (unidad observacional) de cada unidad experimental. La medición se realizó 2 veces por semana entre brotación y cuaje y luego una vez por semana hasta envero (12 veces en total). A su vez, sobre estas plantas se determinó el índice de área foliar (IAF) previo al envero (el 30 de diciembre de 2017) cuando la canopia había alcanzado su máximo desarrollo. Para ello se utilizó la aplicación móvil *VitiCanopy*, que a través de capturas fotográficas de la canopia, estima el IAF (Figura 4; De Bei et al., 2016).

En ambas temporadas, una vez alcanzada la máxima longitud de brotes, se despanpanó (10/01/2018 y 15/01/2019) y se determinó el peso fresco de los extremos eliminados como indicador del crecimiento vegetativo, de todas las plantas de cada unidad experimental. En los inviernos posteriores a cada temporada (invierno 2018 y 2019), se registró el peso de la madera de poda, de brotes primarios y secundarios, de todas las plantas de cada unidad experimental. El resultado se expresó por metro lineal de cordón.

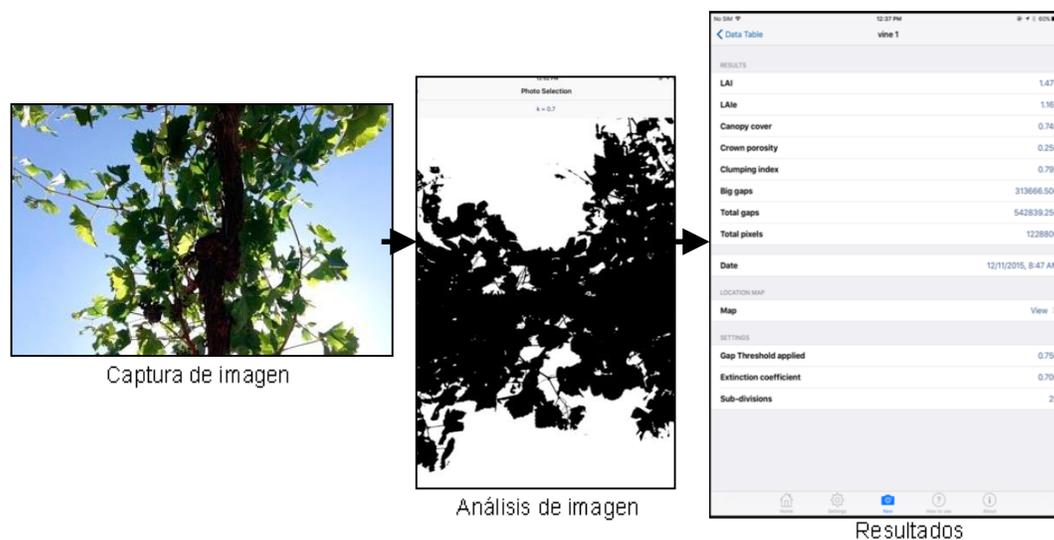


Figura 4. Análisis de imagen a través de la aplicación Viticanopy para la estimación del índice de área foliar (IAF). La imagen de la canopia se captura desde abajo con la cámara frontal del celular. La aplicación realiza un análisis de la imagen para arrojar diferentes resultados: índice de área foliar (IAF), cobertura de canopia, porosidad de canopia, etc.

Figure 4. Image analysis through the Viticanopy application for the estimation of the leaf area index (LAI). The image of the canopy is captured from below with the front camera of the cell phone. The application performs an analysis of the image to return different results: leaf area index (LAI), canopy coverage, canopy porosity, etc.

4.4.5 Componentes del rendimiento e índice de Ravaz

En el momento de cosecha en ambas temporadas se determinó el número de racimos por planta, el peso del racimo, el peso de baya y la producción por planta de todas las plantas de cada unidad experimental. Se calculó el Índice de Ravaz como la relación entre la producción y el peso de madera de poda como un indicador del equilibrio entre el desarrollo reproductivo y vegetativo. La cosecha se realizó cuando se alcanzó 24° Brix en ambos tratamientos.

4.4.6 Evolución de madurez

En 2018 se realizaron siete muestreos de baya entre envero y cosecha, y uno en cosecha (26 de marzo). Los muestreos consistieron en tomar bayas de distintas porciones de racimos, de manera aleatoria, de las cinco plantas de todas las unidades experimentales. En cada muestreo se recolectaron 30 bayas por parcela y se determinó el peso de baya,

concentración de sólidos solubles (grados Brix), pH y acidez total (AT). Las mediciones de AT se hicieron a partir del quinto muestreo. Además, se determinó el contenido de azúcar por baya (g de azúcar baya⁻¹), a partir del peso de las bayas y de los grados Brix (ecuación 8). También se definió el momento de máxima cantidad de azúcar por baya, a partir del cálculo de ganancia diaria porcentual de azúcar por baya (ecuación 9). Se considera que cuando esta ganancia cae por debajo del 0,4%, se ha llegado a la máxima acumulación de azúcar por baya (Figura 5; Vila et al., 2010).

$$\text{Azúcar. baya}^{-1} = \frac{\text{azúcar mosto}}{\left(\frac{\text{bayas}}{\text{kg uva}} \times \text{densidad mosto}\right)} \quad (8)$$

$$\text{Ganancia azúcar. baya}^{-1} = \frac{\text{azúcar. baya}^{-1}_{\text{fecha actual}} - \text{azúcar. baya}^{-1}_{\text{fecha anterior a la actual}}}{\left(\text{azúcar. baya}^{-1}_{\text{fecha anterior a la actual}} \times N^{\circ} \text{ días entre mediciones}\right)} \quad (9)$$

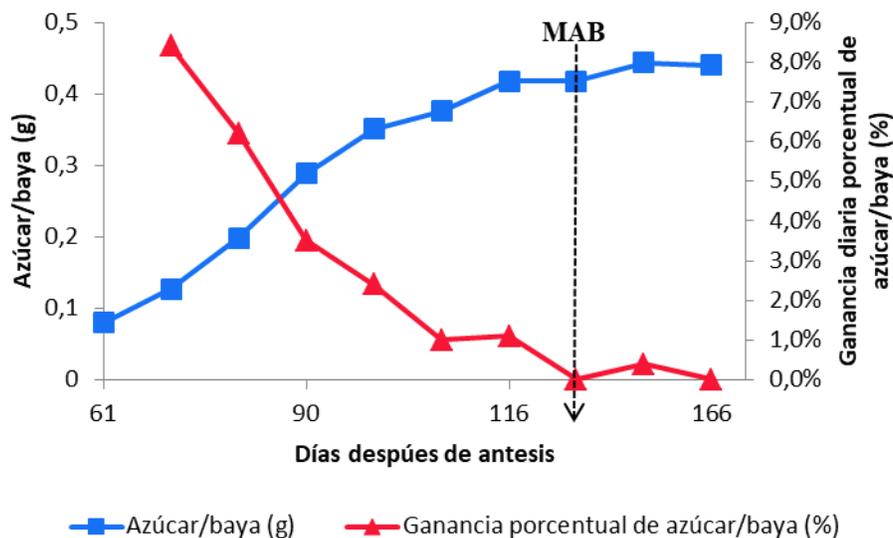


Figura 5. Determinación del momento de máxima azúcar por baya (MAB) cuando la ganancia diaria porcentual de azúcar se aproxima a valores cercanos al 0,4%. A medida que avanza el proceso de maduración, el azúcar por baya incrementa hasta su máximo (MAB). Dicho punto es determinado cuando la ganancia porcentual de azúcar/baya cae por debajo de 0,4%. Ese momento es el indicado como el óptimo para cosechar (Vila et al., 2010).

Figure 5. Determination of the moment of maximum sugar per berry (MAB) when the percentage daily sugar gain approaches values close to 0,4%. As the ripening process progresses, the sugar per berry increases to its maximum (MAB). Said point is determined when the percentage gain of sugar/berry falls below 0,4%. That moment is indicated as the optimum for harvesting (Vila et al., 2010).

4.4.7 Determinación de polifenoles

Al momento de cosecha, se muestrearon 50 bayas por parcela, conservando su pedúnculo. Luego, de cada una de estas muestras se seleccionó y pesó una submuestra de 20 bayas. Posteriormente, los hollejos y las semillas fueron separados de la pulpa y se pesaron por separado (hollejo y semilla). Se prosiguió con la extracción de compuestos fenólicos de hollejos y semillas, a partir del siguiente procedimiento (Harbertson et al., 2002, 2003, 2015): se colocaron las muestras de hollejos y semillas en un frasco color caramelo y se adicionaron 40 ml de acetona como disolvente de extracción. Luego se realizó la extracción a través de incubación durante 17-18 hs, en agitador orbital a 150 rpm y 15-20 °C. Posteriormente se colocó el líquido en un tubo falcon de 50 ml y se centrifugó durante 5 minutos a 2500 rpm. Luego se recuperó el sobrenadante, se pasó a un balón de destilación y se eliminó el contenido de acetona a través de un rotavapor a 35-40 °C y a presión reducida. A continuación, se tomó el extracto acuoso remanente, se trasvasó a una probeta y se enrasó a 20 ml con agua destilada. Este extracto se conservó a -20°C hasta la medición con espectrofotómetro.

A través de espectrofotometría se determinaron los contenidos de fenoles, taninos y antocianinas totales de hollejos, y fenoles y taninos totales de semillas, siguiendo el protocolo de (Harbertson et al., 2003, 2002, 2015). Cada muestra de extracto de hollejo y semilla fue centrifugada a 3500 rpm durante 10 min. Luego se realizó una dilución 1:5 de cada muestra empleando el Buffer B (ver Anexo). Las mediciones de los diferentes componentes se realizaron de la siguiente manera:

✓ Fenoles totales de hollejos y semillas

Se tomaron 50 µl de muestra de extracto sin diluir, se colocó en una cubeta y se agregaron 825 µl de Buffer C (ver Anexo). Se homogeneizó por inversión y se mantuvo en reposo durante 10 min. Posteriormente se realizó la lectura de la absorbancia a 510 nm (A510 background fenoles), y se empleó como blanco 875 µl de Buffer C. Luego se agregaron 125 µl de reactivo de cloruro férrico a la muestra y al blanco, se homogeneizaron por inversión y se mantuvieron en reposo durante 10 min. Se realizó la lectura de absorbancia a 510 nm (A510 final fenoles), empleando como blanco 875 µl de Buffer C + 125 µl de cloruro férrico.

✓ Antocianinas totales de hollejos

Se tomaron 500 µl de muestra diluida, se colocó en una cubeta de 1.5 ml (1 cm paso óptico), luego se agregó 1 ml de Buffer D (ver anexo), se homogeneizó y se mantuvo en

reposo en la oscuridad durante 5 min. Posteriormente se realizó la lectura de la absorbancia a 520 nm, y se empleó como blanco 500 µl de Buffer B + 1000 µl de Buffer D.

✓ Taninos totales de hollejos y semillas

Se tomaron 500 µl de muestra diluida, se colocó en una cubeta plástica de 1.5 ml (1 cm de paso óptico), se agregó 1 ml de Buffer A (ver Anexo), se homogeneizó y se mantuvo en reposo en la oscuridad durante 10 min. Posteriormente se realizó la lectura de la absorbancia a 520 nm, empleando como blanco 1.5 ml de Buffer A. Luego se agregaron 80 µl del reactivo de decoloración (ver Anexo), se homogeneizó por inversión y se mantuvo en reposo durante 10 min. Luego se realizó nuevamente una lectura de la absorbancia a 520 nm, empleando como blanco 1.5 ml de Buffer A + 80 µl de reactivo de decoloración.

Los cálculos se realizaron de la siguiente manera:

- ✓ Antocianinas totales (mg/L, Mv-3-gl eq.) = $(D - A) / 0,0102$
- ✓ Taninos totales: se calculan a partir de la curva de calibración utilizando los valores de A510 background tanino y A510 final tanino.

A partir de la absorbancia obtenida con los datos de la curva se cuantifican: $2 \times (A - \text{intercepto/pendiente}) \times \text{factor de dilución}$

- ✓ Fenoles totales = $A510 \text{ final fenoles} - (A510 \text{ background fenoles} \times 0,875)$

4.4.8 Productividad del agua en el viñedo

En 2018 y 2019, desde brotación hasta cosecha, se determinó la productividad del agua en el viñedo (PA), a partir de la relación entre el rendimiento y el uso total de agua (Cancela et al., 2016), correspondiendo en secano sólo a las precipitaciones efectivas y en el tratamiento con riego al riego + precipitaciones efectivas (ecuación 10).

$$PA_{UVA} = \frac{\gamma}{ATU} (\text{kg}_{\text{uva}} \text{m}^{-3}\text{H}_2\text{O}) \quad (10)$$

Donde γ es el rendimiento por hectárea ($\text{kg}_{\text{uva}} \text{ha}^{-1}$) y ATU es el agua total utilizada por hectárea ($\text{m}^3 \text{ha}^{-1}$). Se consideraron otros dos índices, también definidos por Cancela et al. (2016), que incluyen el peso de la poda y el rendimiento de la uva más el peso de la poda (ecuación 11 y 12).

$$PA_{PODA} = \frac{PP}{ATU} \text{ (kg}_{\text{poda}} \text{ m}^{-3}\text{H}_2\text{O)} \quad (11)$$

$$PA_{UVA+PODA} = \frac{\gamma+PP}{ATU} \text{ (kg}_{\text{uva+poda}} \text{ m}^{-3}\text{H}_2\text{O)} \quad (12)$$

Donde PP se refiere el peso de la poda por hectárea ($\text{kg}_{\text{poda}} \text{ ha}^{-1}$) y $\gamma+PP$ es la suma del rendimiento y el peso de la poda por hectárea ($\text{kg}_{\text{uva+poda}} \text{ ha}^{-1}$).

4.5 Análisis estadístico

Los datos fueron sometidos a análisis de varianza y la diferencia de medias entre tratamientos, para medidas puntuales, se determinó mediante Tuckey ($\alpha=0,05$). Para los datos correspondientes a mediciones repetidas en el tiempo (longitud de brotes, conductancia estomática, k_c , peso de baya, grados Brix, azúcar por baya, acidez total y pH) se utilizaron modelos lineales mixtos. Los modelos seleccionados con mejor ajuste, fueron aquellos que presentaron menores valores de AIC Y BIC. Se asumieron como efectos aleatorios las parcelas y bloques; y como efectos fijos los tratamientos, días de medición e interacción entre ambos. La comparación de media en los modelos lineales mixtos se realizó mediante la prueba LSD de Fisher ($\alpha=0,05$). Los datos se analizaron con el programa estadístico InfoStat (Versión 2016, Grupo InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina).

5 RESULTADOS

5.1 Condiciones meteorológicas

Las dos temporadas estudiadas fueron meteorológicamente diferentes. La temporada 2017/2018 fue más cálida, con temperaturas máximas y medias más elevadas, menos precipitaciones y mayor ET_0 acumulada. En contraste, durante la temporada 2018/2019, se registraron temperaturas máximas y medias menores, una pluviometría más elevada y menor ET_0 acumulada.

En la temporada 2017/2018, las temperaturas máximas medias registradas durante los meses de octubre, noviembre y marzo, fueron superiores a los registros históricos durante dichos meses. Mientras que las temperaturas mínimas medias registradas en los meses de octubre, noviembre, enero y marzo, fueron inferiores a los valores históricos (Figura 6). Desde el inicio de la brotación (15/09/2017) hasta la cosecha (26/03/2018), la temperatura

máxima registrada fue de 38,8°C el 16/12/2017, mientras que la temperatura mínima fue de 1,5°C el 25/03/2018, un día previo a la cosecha. Los meses de mayor temperatura fueron diciembre, enero y febrero, con temperaturas medias de 22,2 °C, 21,3°C y 21,8 °C respectivamente. En marzo, la temperatura máxima media registrada fue elevada (28,7 °C) y la mínima media fue de 10,3 °C, lo que implicó una disminución en la temperatura media (19,54 °C) de ese mes. Durante esta temporada se registraron diez días con temperaturas superiores a los 35 °C y la sumatoria de los grados días (GDA), desde brotación hasta cosecha, fueron de 1838 °Cd (Figura 7).

Por otro lado, la evapotranspiración de referencia (ET_0) acumulada desde brotación hasta cosecha fue de 935 mm. La ET_0 diaria (mm/día) fue más baja durante los meses de septiembre, octubre y marzo. El 27/09/2017, se registró la ET_0 diaria más baja de toda la temporada (0,4 mm/día) con una temperatura máxima que no superó los 8°C y una humedad relativa mínima del 94%. Inusualmente el 04/10/2017, se registró una ET_0 diaria elevada (7,8mm/día) debido a que la temperatura máxima en esa fecha superó los 34°C, la humedad máxima fue del 38% y se produjeron ráfagas de viento de 4,86 m/s. El promedio mensual de la ET_0 diaria fue más elevado en noviembre y diciembre (5,2mm/día y 5,3 mm/día respectivamente), lo cual se explica porque noviembre fue un mes con temperaturas elevadas (temperatura máxima media de 28,6 °C) y escasas precipitaciones (33mm), y diciembre fue el mes con la mayor temperatura media. Por otro lado, en enero y febrero, la ET_0 diaria promedio fue levemente inferior (4,7 mm/día y 5,1 mm/día respectivamente) a la registrada en noviembre y diciembre, con dos descensos marcados el 13/01/2018 y el 11/02/2018, como consecuencia de las precipitaciones registradas esos días (39mm y 41mm respectivamente; Figura 8).

Desde el 15/09/17 hasta el 26/03/18, período en el cual se aplicó el riego estándar de la finca, las precipitaciones totales fueron de 469,1 mm y las efectivas de 394 mm (un 16% menos que las precipitaciones totales). A su vez, los meses de mayor registro de lluvias fueron febrero (124mm totales y 99,8 mm efectivos) y diciembre (81,6mm totales y 70,9 mm efectivos). En febrero de 2018 las precipitaciones fueron superiores en comparación con los registros históricos de la región, mientras que noviembre de 2017 y marzo de 2018 fueron inferiores (Figura 6).

Por otro lado, las condiciones climáticas registradas en la temporada 2018/2019, presentaron marcadas diferencias con respecto a la temporada 2017/2018. Las temperaturas máximas medias registradas en enero, febrero y marzo de 2019, fueron inferiores a las máximas medias históricas de la región, mientras que la mínima media en diciembre fue inferior al registro histórico de dicho mes (Figura 6). Desde el inicio de la brotación (20/09/2018) hasta la cosecha (14/03/2019) la temperatura máxima registrada fue de 38,1 °C el 22/09/2018, dos días posteriores al inicio de la brotación, y la temperatura mínima fue de 2,4 °C el 12/10/2018. Al igual que en la temporada 2017/2018, los meses más cálidos fueron diciembre, enero y febrero, con temperaturas medias de 21,2°C, 21,7 °C y 21,2°C respectivamente. Sin embargo, la temperatura media registrada en diciembre 2017 fue superior que en diciembre 2018. En contraste con la temporada anterior, durante este período se registraron sólo tres días con temperaturas superiores a los 35°C y los GDA desde brotación hasta cosecha fueron 1752°Cd (Figura 7). A su vez, en marzo 2019 se registró un marcado descenso de la temperatura media (17,8 °C), máxima media (23,1°C) y mínima media (12,5°C). La amplitud térmica de marzo 2019 fue menor que en marzo 2018. Por otra parte, la ET_0 acumulada desde brotación (20/09/2018) hasta cosecha (14/03/2019) fue de 506 mm (Figura 8). Al comparar la ET_0 acumulada entre las temporadas, considerando el mismo período en ambos años (desde el 15 de septiembre hasta el 26 de marzo), en 2018/2019 fue un 57,7% menor que en 2017/2018.

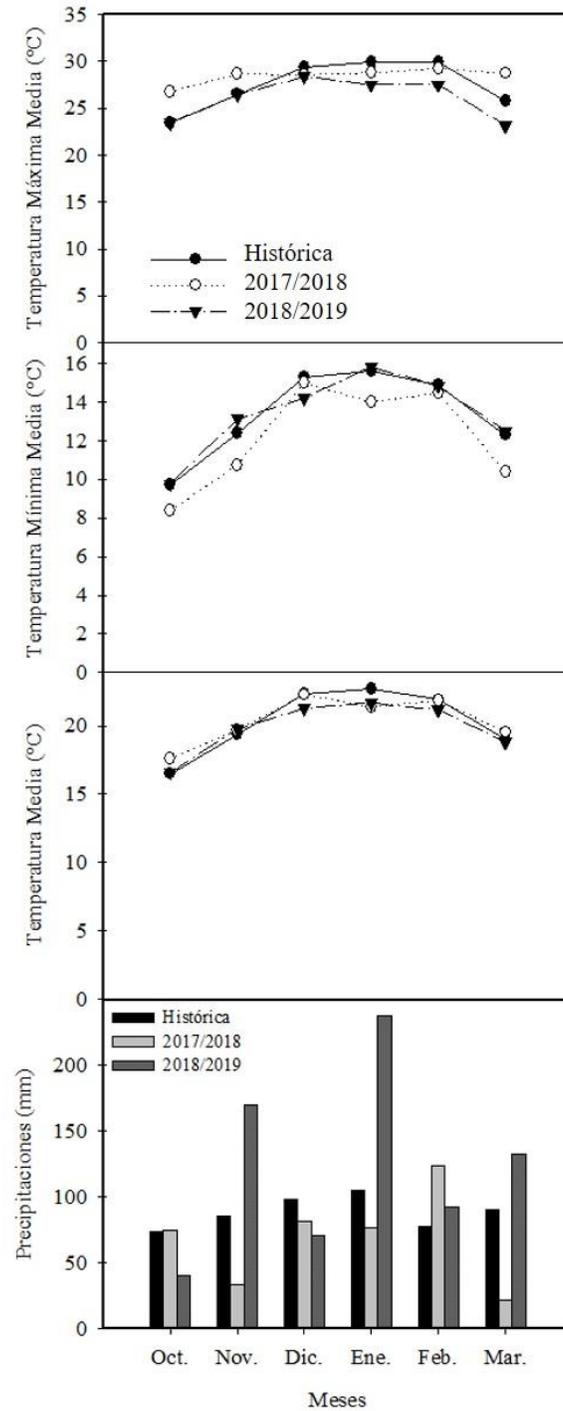


Figura 6. Temperaturas máximas, mínimas, medias (°C) y precipitaciones históricas y durante las temporadas 2017/2018 y 2018/2019. Valle de Calamuchita, Córdoba

Figure 6. Maximum, minimum, average temperatures (°C) and historical rainfall during the 2017/2018 and 2018/2019 seasons. Calamuchita Valley, Córdoba

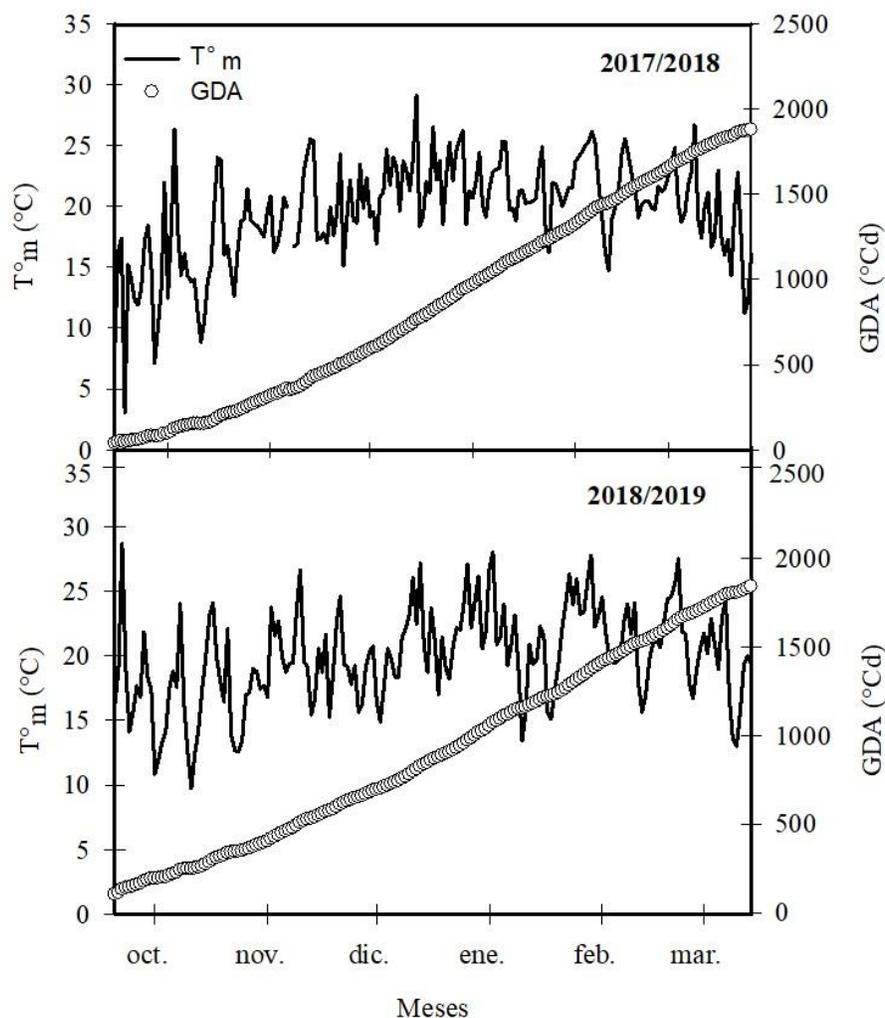


Figura 7. Temperatura media ($T^{\circ}m$) y grados días acumulados (GDA) desde septiembre hasta abril durante ambas temporadas. Valle de Calamuchita, Córdoba

Figure 7. Mean temperature ($T^{\circ}m$) and accumulated degree days (GDA) from September to April during both seasons. Calamuchita Valley, Córdoba

Al igual que en 2017, en septiembre y octubre de 2018 la ET_0 diaria tuvo marcadas fluctuaciones, registrándose valores inusuales que se correlacionan con las condiciones climáticas de cada día (Figura 8). El 05/09/2018, se registró una inusual ET_0 diaria de 7.8mm/día, debido a la elevada temperatura registrada ese día ($31^{\circ}C$). El 22 y 25 de octubre de 2018 se registraron las ET_0 diarias más bajas de la temporada, lo cual se explica porque ambos días presentaron temperaturas máximas de $15^{\circ}C$ y humedad relativa mínima del 92% y 95% respectivamente. Con respecto al promedio mensual de la ET_0 diaria, septiembre fue

el más elevado (3,3 mm/día), lo cual coincide con ser el mes de menor registro de lluvias (5,1mm), en contraste con la temporada anterior, donde septiembre fue el mes con menor promedio de ET_0 diaria (3,3mm/día). Durante enero, febrero y marzo de 2019 (meses de maduración de la uva), los promedios de ET_0 diaria fueron los más bajos de la temporada, registrándose 2,6 mm/día, 2,7 mm/día y 1,7 mm/día, respectivamente. Esto coincide con las elevadas precipitaciones registradas durante dicho trimestre (461mm; Figura 8).

Las precipitaciones totales desde el 20/09/2018 (brotación) hasta el 15/03/2019 (cosecha) fueron 643mm, y las efectivas durante el mismo período de 580 mm (un 9,7% menos que las precipitaciones totales). A su vez, los meses de mayor registro de lluvias fueron noviembre (170mm totales y 153mm efectivos) y enero (237mm totales y 204mm efectivos). En noviembre, enero y marzo de la temporada 2018/2019, las precipitaciones fueron superiores en comparación a los registros históricos y a la temporada 2017/2018 (Figura 6). Considerando el mismo período de tiempo en ambas temporadas, en 2018/2019 se produjo un 60% (173 mm) más de precipitaciones que en 2017/2018 (Figura 8).

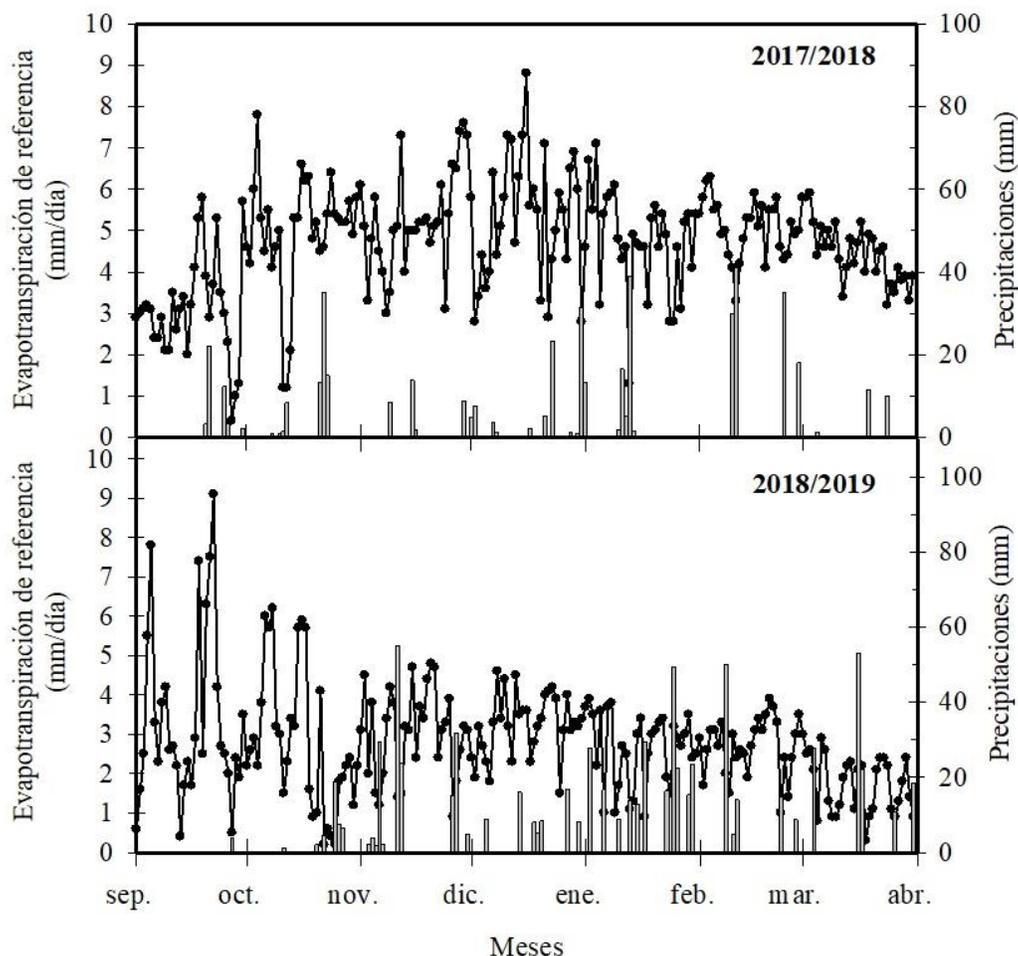


Figura 8. Lluvias totales (barras) y evapotranspiración de referencia diaria [ET₀] (línea) en el viñedo en estudio durante los meses del ciclo (septiembre-abril) correspondientes a la temporada 2017/2018 y 2018/2019. Valle de Calamuchita, Córdoba.

Figure 8. Total rainfall (bars) and daily reference evapotranspiration [ET₀] (line) in the vineyard under study during the months of the cycle (September-April) corresponding to the 2017/2018 and 2018/2019 seasons. Calamuchita Valley, Córdoba.

5.2 Índices bioclimáticos

A través de la ITW se clasificó a la zona de estudio, en ambas temporadas, dentro de la región IV como zona cálida. Por otro lado, el IH presentó variabilidad entre las temporadas. En 2017/2018, según el IH se clasificó a la zona como de clima cálido, excediendo las necesidades heliotérmicas para madurar, incluso, variedades tardías (Tonietto & Carbonneau, 2004). Sin embargo, en 2018/2019, el IH clasificó a la zona como de clima templado-cálido. La diferencia en cuanto al IH entre temporadas, se debe a que en 2018/2019

las temperaturas medias y medias máximas desde el 1° de octubre al 31 de marzo, fueron inferiores a las registradas durante el mismo período en 2017/2018 (Tabla 1).

El índice de frescor nocturno (IF), según el Sistema de Clasificación Climática Multicriterio (Tonietto & Carbonneau, 2004), clasificó a la zona como de noches muy frescas en 2018 y templadas en 2019. El IF (temperatura mínima media del mes previo a cosecha) en 2018 fue 10,37 °C, mientras que en 2019 fue de 14,6 °C. Esta variación entre años se debe a que en 2019 la cosecha fue más temprana, por lo que el IF se calculó desde el 15/02 al 15/03 (cosecha), abarcando un período más caluroso que en 2018 (del 26/02 al 26/03).

Finalmente, el índice de sequía (IS), clasificó a la zona en 2017/2018 como moderadamente seca y en 2018/2019 como húmeda. Esta diferencia entre dos temporadas consecutivas se debe a la variación en el nivel de precipitaciones y en la ET_0 registradas en ambos años (la temporada 2017/2018 fue más seca y con menor ET_0 acumulada que en 2018/2019).

Tabla 1. Índices bioclimáticos durante el período de crecimiento. Valle de Calamuchita. Temporadas 2017/2018 y 2018/2019. ITW= Integral térmica efectiva de Winkler, IF= Índice de frescor nocturno, IHH= Índice Heliotérmico de Huglin, IS=Índice de sequía.

Table 1. Bioclimatic indices during the growth period. Calamuchita Valley. Seasons 2017/2018 and 2018/2019. ITW= Winkler effective thermal integral, IF= Nocturnal coolness index, IHH= Huglin Heliothermal Index, IS= Drought index.

Temporada	ITW °C Días	IF °C	IHH °C	IS mm	Clasificación*
2018	2176	10,37	2515	49	ITW= IV, IF= 4, IHH= 5, IS= +1 Cálido, noches muy frescas, cálido, moderadamente seco
2019	1953	14,63	2335	546	ITW= IV, IF= 3, IHH= 4, IS= -2 Cálido, noches templadas, templado-cálido, húmedo

* IF, IHH e IS según Tonietto & Carbonneau (2004); ITW según Amerine & Winkler (1944)

5.3 Coeficiente de cultivo (k_c), evapotranspiración del cultivo (ET_c) y lámina de agua aplicada.

En 2017/2018 el k_c estimado a partir de la sombra generada por las plantas no presentó diferencias significativas entre los tratamientos durante todo el período de medición ($p=0,5457$). Al inicio de la temporada, los valores de k_c en secano y con riego, estuvieron

alrededor de 0,1. Posteriormente, a medida que el tamaño de la canopia fue incrementando, los valores de k_c aumentaron exponencialmente hasta días posteriores al cuaje, alcanzando los valores máximos, y manteniéndose constantes hasta el final de la temporada. El valor máximo de k_c registrado en ambos tratamientos fue de 0,6 a los 485 °Cd (21/11/2017). A su vez, se estableció una ecuación polinomial de segundo orden entre los valores de k_c y los grados días acumulados (GDA), obteniendo un valor de $R^2=0,97$ (Figura 9).

Por otra parte, la evapotranspiración del cultivo (ET_C) acumulada en 2017/2018 desde brotación hasta cosecha fue de 464 mm (se consideró que el k_c desde enero hasta cosecha se mantuvo constante ya que la canopia no se modificó). Mientras que en 2018/2019, fue de 240 mm; un 51% de lo que fue en 2018. Cabe aclarar que durante 2018/2019 se consideraron los valores de k_c medidos la temporada anterior.

Desde brotación hasta cosecha en 2017/2018, la lámina de agua total recibida por las plantas con riego estándar (R1), considerando las precipitaciones efectivas más el riego, fue de 583 mm; de los cuales el 30% fue aportado por riego (191 mm). Por otra parte, las plantas de secano (S), sólo recibieron el agua de las precipitaciones efectivas (394 mm). La cantidad de agua recibida por las plantas de R1, desde brotación hasta cosecha, fue superior a la ET_C , mientras que en secano (considerando sólo las precipitaciones efectivas) la lámina se mantuvo al mismo nivel de la ET_C (Figura 10). En la temporada 2018/2019, desde brotación hasta cosecha, las plantas con riego previo a brotación (R2), recibieron una lámina de 610 mm de agua (precipitaciones efectivas más riego), de los cuales el 8% fue por riego (50mm). A su vez, las plantas de secano recibieron una lámina de 560 mm de agua (sólo precipitaciones efectivas). En ambos tratamientos, la lámina de agua recibida por las plantas superó a la ET_C durante todo el ciclo y a la ET_0 a partir de febrero (Figura 10).

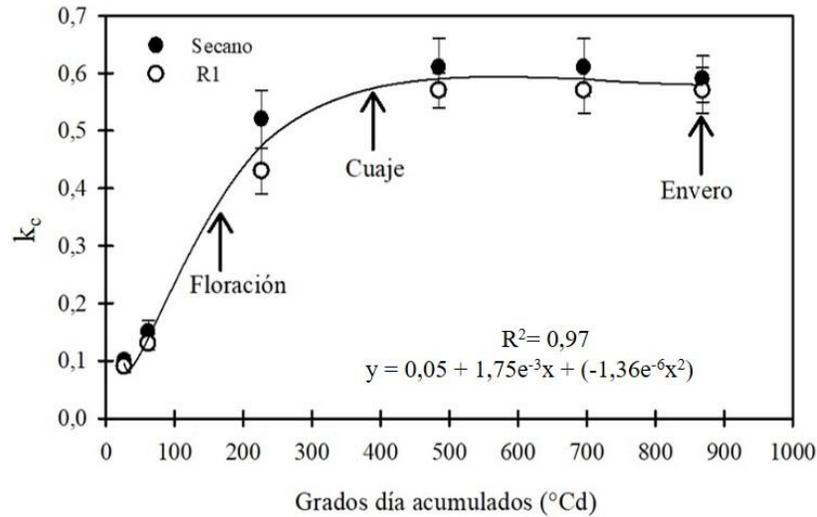


Figura 9. Evolución del coeficiente de cultivo (k_c) desde brotación hasta envero en 2017/2018. Cada punto representa el promedio de diez mediciones. Las barras indican el error estándar de la media. Valle de Calamuchita, Córdoba.

Figure 9. Evolution of the crop coefficient (k_c) from sprouting to veraison in 2017/2018. Each point represents the average of ten measurements. The bars indicate the standard error of the mean. Calamuchita Valley, Cordoba.

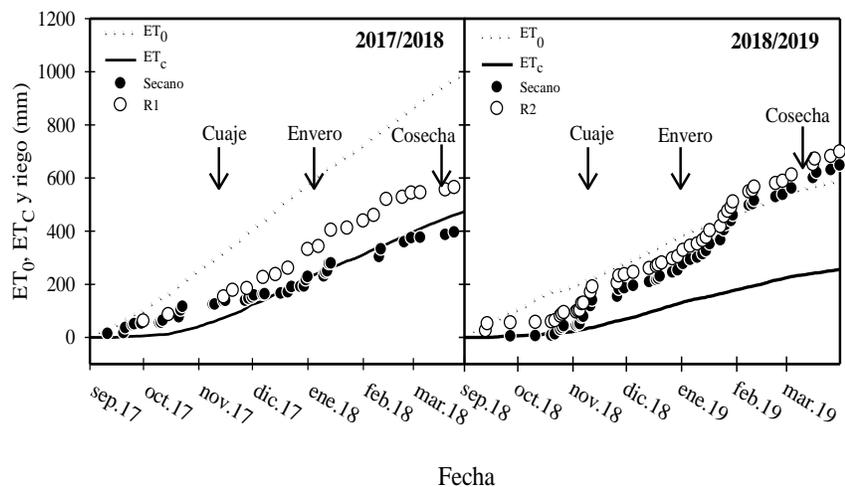


Figura 10. Evapotranspiración de referencia (ET_0), evapotranspiración del cultivo (ET_c) y lámina de agua aplicada en ambos tratamientos durante la temporada 2017/2018 (a) y 2018/2019 (b). R1= riego estándar; R2= riego previo a brotación. Valle de Calamuchita, Córdoba

Figure 10. Reference evapotranspiration (ET_0), crop evapotranspiration (ET_c) and water depth applied in both treatments during the 2017/2018 (a) and 2018/2019 (b) seasons. R1= standard irrigation; R2= irrigation prior to sprouting. Calamuchita Valley, Córdoba

5.4 Estado hídrico de las plantas: conductancia estomática

A través de los valores de g_s obtenidos, se determinó que las plantas en secano y con riego mantuvieron el mismo estado hídrico durante todo el ciclo, aunque la diferencia observada el 24/12/17 indica un posible déficit hídrico leve y temporario en plantas en secano ese día de medición.

La conductancia estomática (g_s) medida durante la temporada 2017/2018, indicó que no hubo déficit hídrico en las plantas en secano. Sólo el 09/10/2017 (inicio de brotación), en ambos tratamientos, g_s fue inferior al umbral mínimo de déficit hídrico determinado ($200 \text{ mmol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$). Luego de esa fecha se mantuvo por encima de los $200 \text{ mmol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ hasta cosecha, indicando que no hubo cierre estomático por déficit hídrico (Figura 11). A su vez no se manifestaron diferencias significativas de g_s entre los tratamientos durante todo el período de medición ($p=0,6051$). Sin embargo, el ANOVA realizado para cada fecha, determinó que sólo en la medición del 24/12/2017 la g_s de las plantas de secano fue significativamente menor que en las irrigadas ($p=0,0082$). En esa fecha el valor de g_s de las plantas con riego fue de $335,9 \text{ mmol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ y en secano $275,4 \text{ mmol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ (valor de g_s por encima del umbral mínimo de 200). En este trabajo, la g_s se registró entre las 10 am y las 12 pm, considerando que en ese horario fue máxima. Además, en cada fecha de medición, se rotaron las parcelas de inicio y fin de lecturas, con el objetivo de alternar los horarios de medición de g_s entre todas las parcelas.

La variabilidad de g_s a lo largo del día, se explica principalmente por variaciones en el déficit de presión de vapor (DPV) diario (Jones 1998). En este estudio, se estableció una regresión entre el valor promedio de g_s y el DPV promedio de cada día de medición entre las 10 am y 12 pm. El resultado arrojó una regresión significativa para ambos tratamientos, con un valor de $r^2_{\text{riego}}=0,84$ y $r^2_{\text{secano}}=0,79$. La curva de regresión presentó dos partes, una donde

la g_s se incrementó linealmente hasta un DPV de 3 kPa y luego a partir de ese momento permaneció constante (Figura 12).

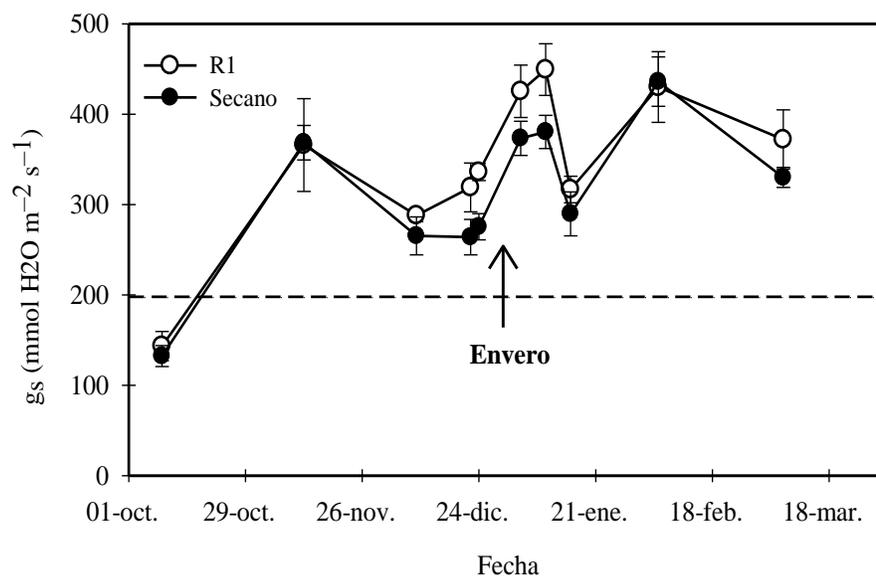


Figura 11. Evolución de la conductancia estomática en plantas con riego estándar (R1) y en secano durante la temporada 2017/2018. Cada punto representa el promedio de 20 mediciones. Las barras indican el error estándar de la media, la línea de guiones el valor umbral mínimo de g_s . Valle de Calamuchita, Córdoba.

Figure 11. Evolution of stomatal conductance in plants with standard irrigation (R1) and in dry conditions during the 2017/2018 season. Each point represents the average of 20 measurements. The bars indicate the standard error of the mean, the dashed line the minimum threshold value of g_s . Calamuchita Valley, Córdoba.

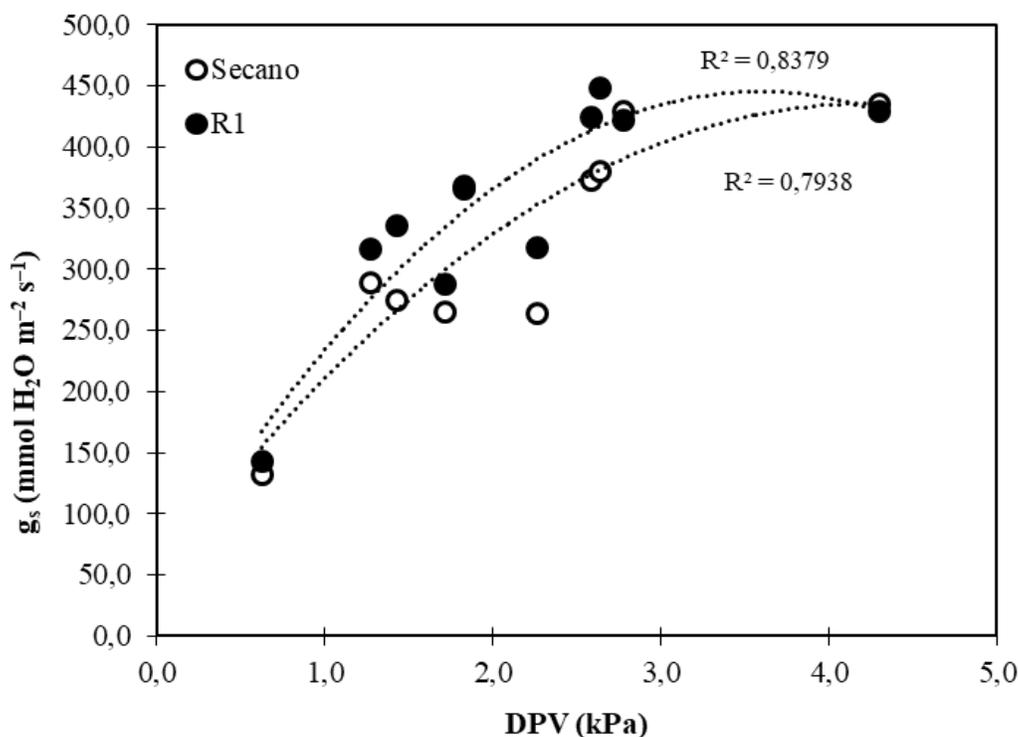


Figura 12. Relación entre la conductancia estomática en plantas con riego estándar (R1) y en seco y el déficit de presión de vapor (DPV) durante la temporada 2017/2018. Cada punto representa el promedio de 20 mediciones y las líneas de puntos la línea de tendencia de cada tratamiento. Valle de Calamuchita. Córdoba.

Figure 12. Relationship between stomatal conductance in plants with standard irrigation (R1) and in dry conditions and the vapor pressure deficit (DPV) during the 2017/2018 season. Each point represents the average of 20 measurements and the dotted lines represent the trend line for each treatment. Calamuchita Valley. Córdoba.

5.5 Desarrollo vegetativo: longitud de brotes, índice de área foliar (IAF), peso de poda y peso del despampanado

El desarrollo vegetativo no se vio afectados por la ausencia de riego (Tabla 2). El crecimiento de los brotes, medido desde brotación hasta envero, fue igual en ambos tratamientos durante todo el período de medición ($p=0,3189$). Incluso la longitud final de los brotes no presentó diferencias significativas entre riego y seco (Tabla 2). La regresión polinomial de segundo orden establecida para ambos tratamientos en conjunto, entre la longitud de los brotes y los grados día acumulados (GDA), arrojó un valor de r^2 de 0,99 (Figura 13). La evolución de la curva de crecimiento fue igual para ambos tratamientos: posterior a la brotación, el crecimiento de los brotes fue aproximadamente lineal hasta el cuaje (400 °Cd). Luego, a partir de los 500 °Cd se mantuvo constante, y posterior al envero

(875 °Cd) el crecimiento se detuvo (Figura 13). Es importante aclarar, que posterior al envero (al cesar el crecimiento de los brotes) se realizó un despampanado, cortando los extremos de los pámpanos excedentes al último alambre. Luego del despampanado no se observó nuevo crecimiento en ninguno de los tratamientos. El peso fresco de ese material (peso de despampanado) no presentó diferencias entre tratamientos en ninguna de las dos temporadas de medición, es decir que el crecimiento de los pámpanos fue igual en seco y con riego estándar (R1 en 2018) y previo a brotación (R2 en 2019). Tampoco hubo diferencias significativas entre años, es decir, que el crecimiento de los pámpanos de las plantas en seco y con irrigación (R1 y R2) fue el mismo en 2018 y 2019 (Tabla 2). El peso de madera de poda total (primaria + secundaria), tampoco presentó diferencias significativas entre tratamientos en ningún año de estudio (Tabla 2). El crecimiento secundario, determinado a través del peso de la poda de brotes secundarios en 2018, fue igual en las plantas con riego y en seco ($p=0,07$). Además, el crecimiento secundario fue muy bajo con relación a la poda primaria (valores no mostrados). El peso de la poda total de las plantas con irrigación (R1 y R2) si presentó diferencias significativas entre años. En 2019, el peso de la poda fue un 25% menor que en 2018. A pesar del elevado nivel de pluviometría registrado en 2018/2019, el desarrollo vegetativo de las plantas con riego fue menor en relación a la temporada anterior. Por otro lado, las plantas en seco no presentaron diferencias significativas entre años, indicando que, luego de dos años consecutivos bajo dicha condición, el crecimiento vegetativo no fue afectado negativamente (Tabla 2).

Con respecto al índice de área foliar (IAF) estimado durante la temporada 2017/2018, a través de la aplicación móvil Viticanopy (De Bei et al., 2016), no presentó diferencias entre los tratamientos ($p=0,5602$; Tabla 2). Esto indica que el desarrollo foliar de las plantas en seco fue el mismo que con riego. Cabe aclarar que el IAF se obtuvo en envero cuando las plantas alcanzaron su máximo crecimiento vegetativo.

Tabla 2. Longitud de brotes final, peso de poda, índice de área foliar (IAF) y peso del despampanado en plantas de cv. Malbec en seco y con irrigación. Se muestra también la comparación de cada variable entre años. Valle de Calamuchita, Córdoba. 2018 y 2019.

Table 2. Final shoot length, pruning weight, leaf area index (LAI) and stemming weight in cv. Malbec rainfed and irrigated. The comparison of each variable between years is also shown. Calamuchita Valley, Córdoba. 2018 and 2019.

Año	Tratamiento	Longitud de brote (cm)	IAF	Peso de poda total* (kg m ⁻¹)	Peso del despampanado (g planta ⁻¹)
2018	Secano	120,95±10,39	0,84±0,10	0,36±0,13	231,64±150,86
	Riego	124,16±8,26	0,82±0,04	0,39±0,11	248,05±163,72
	<i>p-valor</i>	0,6328	0,7677	0,4289	0,7402
2019	Secano	-	-	0,33±0,13	272,75±227,27
	Riego	-	-	0,29±0,1	237,23±153,08
	<i>p-valor</i>	-	-	0,2157	0,3795
<i>p-valor**</i> (año)	Secano	-	-	0,1623	0,1158
	Riego	-	-	0,0397	0,8932

Cada valor es la media de 5 repeticiones ± la desviación estándar. Valores en negrita indica diferencias significativas de acuerdo a la prueba Tukey ($p \leq 0,05$)

*Suma del peso de poda primaria y secundaria.

** Comparación de variables entre años

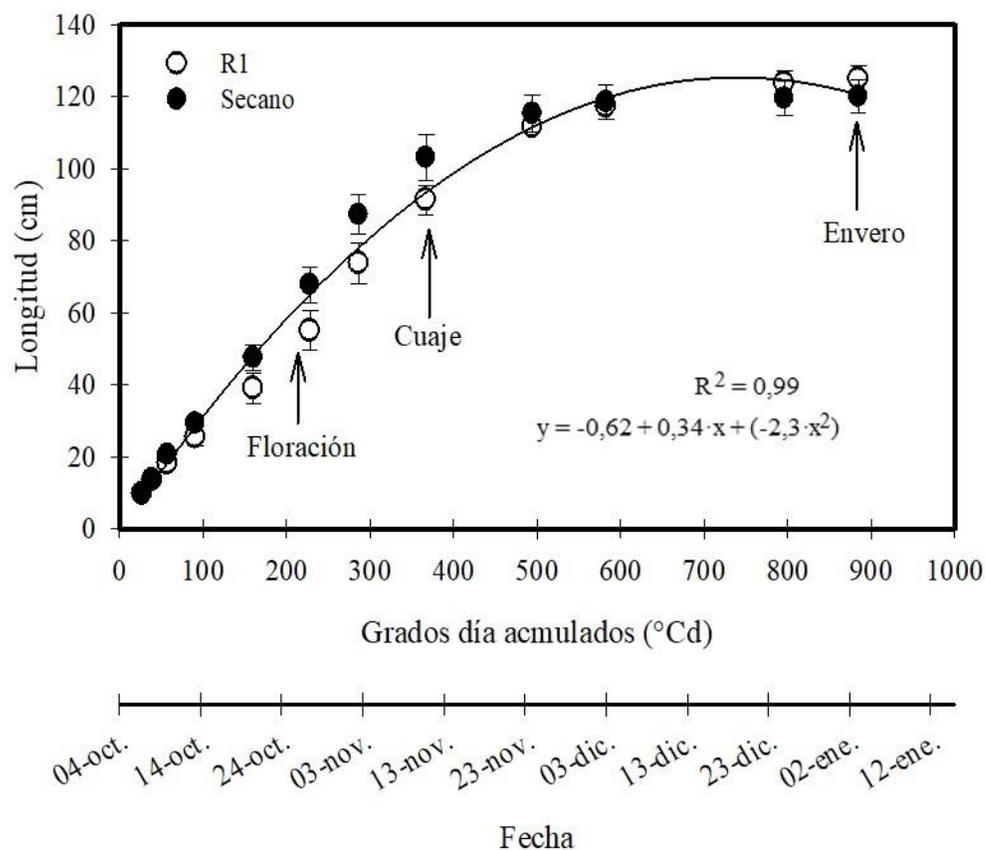


Figura 13. Evolución de la longitud de brotes en plantas de cv. Malbec en seco y con riego (R1). Cada círculo representa el valor promedio de 80 mediciones y las barras el error estándar de la media de la longitud. Valle de Calamuchita, Córdoba. Temporada 2017/2018.

Figure 13. Evolution of shoot length in cv. Malbec dry and irrigated (R1). Each circle represents the average value of 80 measurements and the bars the standard error of the mean of the length. Calamuchita Valley, Córdoba. Season 2017/2018.

5.6 Componentes de rendimiento e índice de Ravaz (IR)

En 2018, no se encontraron diferencias significativas en la producción por planta, peso y número de racimos, ni en el índice de Ravaz (IR) entre seco y R1 (Tabla 3). A su vez, en 2019 sólo hubo diferencia significativa ($p=0,046$) en la producción por planta. Las plantas de seco presentaron un 20% más de producción (kg pl^{-1}) que las plantas con riego previo a brotación (R2). Sin embargo, el peso y número de racimos e IR, fue igual para ambos tratamientos (Tabla 3).

Por otro lado, hubo diferencias significativas en cuanto a la producción, peso de racimo e IR entre los años de estudio (Tabla 3). En 2019, las plantas en secano y con riego aumentaron la producción en un 60% y 42% y el peso de los racimos en un 56% y 36% respectivamente, en comparación con los resultados obtenidos en 2018. En cuanto al número de racimos, no hubo diferencias entre años, ni en las plantas de secano ni irrigadas (R1 y R2); indicando que el aumento en la producción fue consecuencia del incremento en el peso de los racimos (Tabla 3). En 2018, las plantas en secano y con R1, presentaron un IR inferior al rango óptimo ($IR < 5$), y en 2019 se registró un incremento significativo en el IR de las plantas en secano y con R2; lo que indica que en ambos tratamientos los valores estuvieron dentro del rango óptimo (5-10; Smart & Robinson, 1991). Tal como se mencionó anteriormente, en 2019 la producción por planta incrementó en ambos tratamientos, en comparación con la producción obtenida en 2018; por lo que las plantas experimentaron un mayor equilibrio vegetativo-reproductivo, de acuerdo con el IR, en la temporada 2018/2019 ($IR=8$; tabla 3).

Tabla 3. Número de racimos, producción por planta, peso de racimo e índice de Ravaz (IR) en plantas de cv. Malbec en secano y con irrigación. Valle de Calamuchita, Córdoba. 2018 y 2019.

Table 3. Number of bunches, production per plant, bunch weight and Ravaz index (IR) in cv. Malbec rainfed and irrigated. Calamuchita Valley, Córdoba. 2018 and 2019.

Año	Tratamiento	Nº de racimos	Producción (kg.planta ⁻¹)	Peso racimo (g)	IR
2018	Secano	27,48±6,28	1,15±0,56	41,71±18,56	4,08±1,69
	Riego	26,17±4,76	1,01±0,48	41,32±16,41	3,95±2,14
	<i>p-valor</i>	0,4601	0,3763	0,9436	0,8138
2019	Secano	27,8±7,86	1,84±0,66	65,15±14,94	8,29±4,2
	Riego	25,24±8,11	1,44±0,60	56,16±15,06	7,75±4,51
	<i>p-valor</i>	0,311	0,046	0,062	0,6982
<i>p-valor*</i> (año)	Secano	0,88	0,0005	<0,0001	<0,0001
	Riego	0,6723	0,016	0,0056	0,0015

Cada valor es la media de 5 repeticiones ± la desviación estándar. Valores en negrita indica diferencias significativas de acuerdo a la prueba Tukey ($p \leq 0,05$)

*Comparación de variables entre años.

Cabe destacar, que la producción de las plantas en secano, luego de dos años consecutivos bajo esta condición, no fue afectada negativamente; incluso incrementó en un mayor porcentaje (60%) en comparación con las plantas irrigadas (42%).

5.7 Evolución de madurez: peso de baya, acumulación de azúcar, pH y acidez total

La cosecha en 2018 se realizó cuando los tratamientos alcanzaron los 24 °Brix (26/03/2018). No se encontraron diferencias significativas en la concentración de sólidos solubles, azúcar por baya, peso de baya, acidez total ni pH, entre riego y secano en el momento de cosecha (Tabla 4). Cabe aclarar que el análisis de evolución de madurez sólo se pudo realizar en la temporada 2018. En 2019 la cosecha se realizó con 22 °Brix (14 de marzo), debido a que las condiciones climáticas no permitieron una mayor concentración de sólidos solubles.

Tabla 4. Brix°, peso de baya, azúcar por baya, acidez total y pH al momento de cosecha en secano y con riego estándar (R1). Valle de Calamuchita, Córdoba. 2018.

Table 4. Brix°, berry weight, sugar per berry, total acidity and pH at harvest time in rainfed conditions and with standard irrigation (R1). Calamuchita Valley, Córdoba. 2018.

Año	Tratamiento	Brix°	Peso de baya (g)	Azúcar (g/baya)	Acidez total (g tart. L ⁻¹)	pH
2018	Secano	24,2±0,1	1,84±0,08	0,41±0,02	3,98±0,54	3,76±0,09
	Riego	23,9±0,25	1,89±0,21	0,41±0,04	4,04±0,32	3,71±0,02
	<i>p-valor</i>	0,068	0,668	0,817	0,863	0,311

Cada valor es la media de 5 repeticiones ± la desviación estándar. Diferencias significativas de acuerdo a la prueba Tukey ($p \leq 0,05$).

La evolución de la acumulación de azúcar por baya y de grados Brix durante el período de maduración, no presentaron diferencias significativas entre los tratamientos ($p_{\text{azúcar/baya}} = 0,3553$ y $p_{\text{Brix}} = 0,6375$). Los grados Brix aumentaron durante todo el período de seguimiento de madurez, a diferencia del azúcar por baya, que alcanzó su máximo antes de cosecha (Figura 14). La evolución de ambas variables fue similar hasta los 1670 grados día acumulados (GDA), presentándose un aumento bien marcado entre los 1000 GDA (post-enero) y 1250 GDA. Posteriormente, ambas variables incrementaron de manera constante, pero menos acentuada hasta los 1600 GDA, y luego presentaron una meseta hasta los 1670 GDA. Finalmente, a los 1670 GDA el azúcar por baya alcanzó su máximo (MAB), mientras

que los grados Brix aumentaron nuevamente hasta la cosecha (1838 GDA). El valor de MAB fue determinado a partir del momento en el que la ganancia diaria porcentual de azúcar fue inferior al 0,4% (Figura 15). Tal como se mencionó anteriormente, en este estudio para ambos tratamientos, el momento de máxima acumulación de azúcar por baya fue a los 1670 GDA (Figura 15).

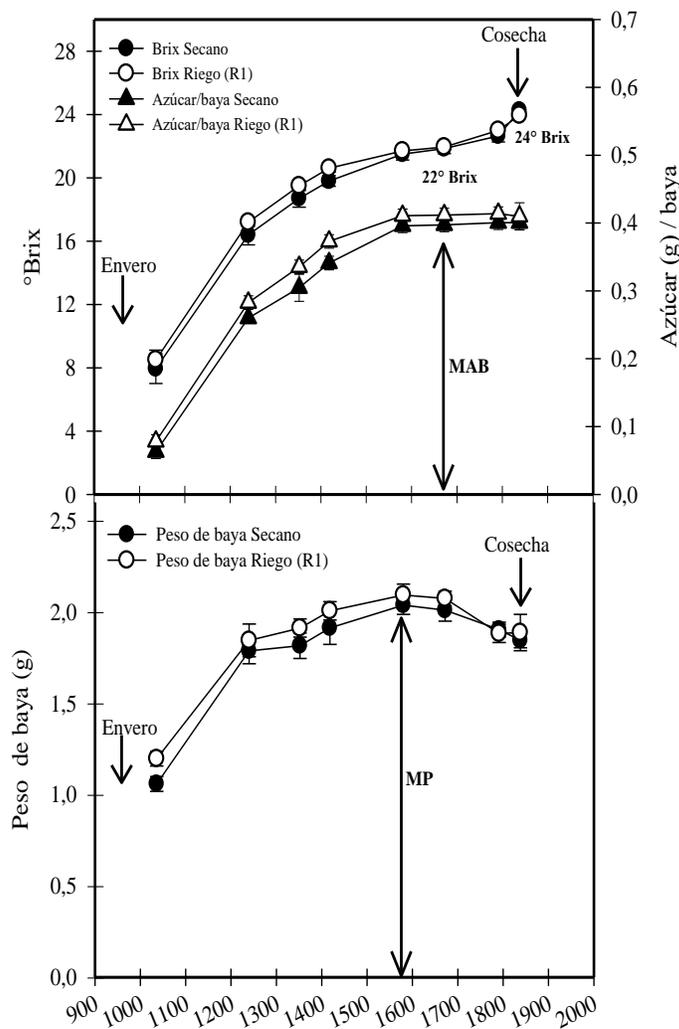


Figura 14. Grados brix, azúcar por baya y peso de baya en secano y con riego estándar (R1). Cada punto representa el valor promedio de cinco mediciones y las barras el error estándar de las medias. MAB= momento de máxima azúcar por baya. MP= momento de máximo peso de la baya. Valle de Calamuchita, Córdoba. 2018

Figure 14. Brix degrees, sugar per berry and berry weight in dry land and with standard irrigation (R1). Each point represents the average value of five measurements and the bars the standard error of the means. MAB= moment of maximum sugar per berry. MP= moment of maximum weight of the berry. Calamuchita Valley, Córdoba. 2018

Por otro lado, la evolución del peso de baya fue igual para ambos tratamientos, sin presentarse diferencias significativas durante el período de madurez ($p=0,5034$). En la etapa inicial, a partir de los 1000 GDA (post-envero) hubo un gran crecimiento hasta los 1250 GDA, y continuó lentamente hasta alcanzar el máximo peso de baya (MP) a los 1580 GDA en ambos tratamientos. Luego se mantuvo constante hasta los 1670 GDA, y posteriormente comenzó a disminuir hasta la cosecha (1838 GDA; Figura 14). Cabe aclarar, que el máximo peso de baya, en secano y con riego, se produjo previamente al momento de mayor acumulación de azúcar por baya (MAB).

En resumen, tanto en las plantas irrigadas como en secano, la cantidad máxima de azúcar por baya (MAB), se alcanzó a los 1670 GDA, lo que correspondió a 22° Brix. El peso máximo de baya fue a los 1580 GDA, se mantuvo estable hasta los 1670 GDA y finalmente comenzó a disminuir hasta la cosecha lo que generó un aumento en la concentración de los sólidos solubles hasta alcanzar los 24 °Brix. A su vez durante la madurez, la acidez total fue igual en ambos tratamientos ($p=0,2623$). Presentó dos disminuciones marcadas: la primera entre los 1580 GDA y los 1670 GDA, y la segunda entre los 1790 GDA y 1830 GDA (cosecha; Figura 16). Por otro lado, el pH incrementó durante el período de madurez, sin presentar diferencias entre los tratamientos ($p=0,8491$; Figura 16). Si bien la empresa se basa en la evolución de los grados Brix para definir la cosecha, con estos resultados se muestran otros componentes de la madurez de la baya para complementar la decisión de dicho momento.

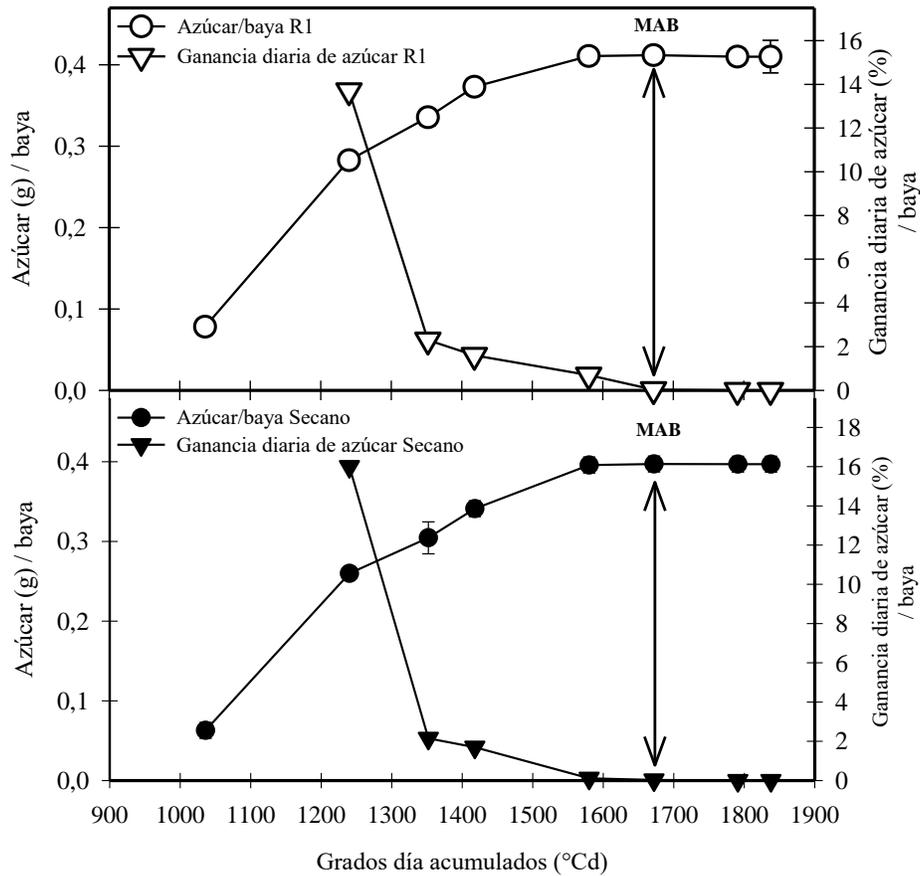


Figura 15. Azúcar por baya y ganancia diaria porcentual de azúcar por baya con riego y en secano. Cada punto representa el valor promedio de cinco mediciones y las barras el error estándar de las medias. La flecha indica el momento en el que se alcanzó la máxima azúcar por baya (MAB). Valle de Calamuchita, Córdoba. 2018.

Figure 15. Sugar per berry and percentage daily gain of sugar per berry with irrigation and rainfed. Each point represents the average value of five measurements and the bars the standard error of the means. The arrow indicates the moment in which the maximum sugar per berry (MAB) was reached. Calamuchita Valley, Córdoba. 2018.

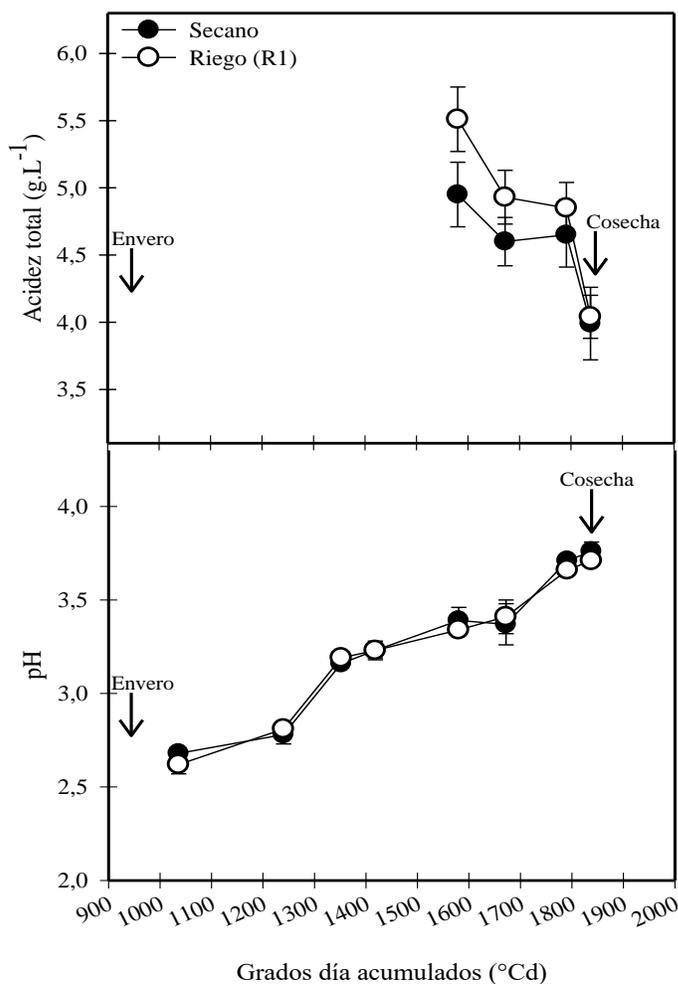


Figura 16. Acidez total y pH en secano y con riego estándar (R1). Cada punto representa el valor promedio de cinco mediciones y las barras el error estándar de las medias. Valle de Calamuchita, Córdoba. 2018.

Figure 16. Total acidity and pH in dry land and with standard irrigation (R1). Each point represents the average value of five measurements and the bars the standard error of the means. Calamuchita Valley, Cordoba. 2018.

5.8 Análisis de polifenoles de bayas al momento de cosecha

En la cosecha 2018, el peso de los hollejos no presentó diferencias significativas entre el tratamiento de secano y riego estándar (R1; tabla 5). A su vez, hubo diferencias significativas en el contenido de fenoles y taninos totales de hollejos entre los tratamientos. Las bayas en secano presentaron un 28% más de fenoles totales y un 51% más de taninos

totales que con R1. Sin embargo, el contenido de antocianos fue igual en ambos tratamientos, sin diferencias significativas (Tabla 5).

Por otro lado, el número y peso de las semillas, fue igual en las bayas de secano y con R1. El contenido de fenoles y taninos totales de semillas, a diferencia de lo observado en los hollejos, no presentó diferencias significativas entre los tratamientos (tabla 5).

Tabla 5. *Peso de hollejos y semillas, número de semillas y compuestos polifenólicos en hollejos y semillas de bayas cv. Malbec al momento de cosecha en secano y con riego estándar (R1). Valle de Calamuchita, Córdoba. 2018.*

Table 5. *Weight of skins and seeds, number of seeds and polyphenolic compounds in skins and seeds of berries cv. Malbec at the time of harvest in dry conditions and with standard irrigation (R1). Calamuchita Valley, Córdoba. 2018.*

		Peso hollejo (g.baya ⁻¹)	Fenoles Totales (mg.g baya ⁻¹)	Taninos Totales (mg.g baya ⁻¹)	Antocianos Totales (mg.g baya ⁻¹)
Hollejo	Secano	0,30±0,02	1,82±0,22	1,12±0,2	2,38±0,18
	R1	0,29±0,02	1,43±0,16	0,74±0,16	1,99±0,38
	p-valor	0,5874	0,0169	0,0163	0,106
		Peso semillas (g.semilla ⁻¹)	Número semillas (semillas.baya ⁻¹)	Fenoles Totales (mg.g semilla ⁻¹)	Taninos Totales (mg.g semilla ⁻¹)
Semilla	Secano	0,073±0,01	1,89±0,35	2,65±0,49	1,2±0,24
	R1	0,079±0,0045	2,06±0,27	3,26±0,72	1,52±0,49
	p-valor	0,125	0,4263	0,1936	0,2751

Cada valor es la media de 5 repeticiones ± la desviación estándar. Diferencias significativas de acuerdo a la prueba Tukey ($p \leq 0,05$)

5.9 Productividad del agua en el viñedo

En la temporada 2018, los tres índices utilizados para medir la productividad del agua en el viñedo (PA_{UVA} , PA_{PODA} y $PA_{UVA+PODA}$), fueron significativamente superiores en secano comparado con las plantas con riego estándar (Tabla 6). Estos resultados indican que por cada m³ de agua aportado sólo por precipitaciones (secano), se produjeron 0,89kg de uva y 0,2kg de madera de poda, mientras que por cada m³ de agua aportada por riego más precipitaciones, fueron 0,41 kg de uva y 0,14 kg de madera de poda. La producción de uva por cada m³ de agua con riego fue un 46% de la producción en secano, mientras que el peso de la madera de poda por cada m³ de agua en el tratamiento con riego fue un 70% de lo

obtenido en secano. Esto indica que la lámina de agua aplicada en el tratamiento de riego, la cual fue un 30% del total de agua recibida por el cultivo, no incrementó de forma proporcional la producción ni el desarrollo vegetativo, por lo que existió una mayor eficiencia del recurso hídrico en secano. A su vez, en la temporada 2019, si bien los valores son menores respecto a la temporada anterior debido a la mayor cantidad de precipitaciones, hubo diferencias significativas entre tratamientos en PA_{UVA} y $PA_{UVA+PODA}$ (Tabla 6).

Según los resultados obtenidos, por cada m^3 de agua en secano se produjeron 0,7 kg de uva, mientras que con riego previo a brotación (R2) 0,49 kg de uva. Es decir, la producción de uva por cada m^3 de agua con riego fue un 70% de la producción en secano. Sin embargo, el peso de poda por cada m^3 de agua no presentó diferencias significativas entre los tratamientos. Cabe aclarar que, en 2019 el nivel de precipitaciones fue superior en 2018, por lo que del total de la lámina de agua aportada en R2, apenas representó el 8% del agua total que recibió el cultivo. Además, en 2019 hubo un aumento de la producción por planta en ambos tratamientos, en contraste con el 2018. A su vez, en 2019 hubo mayor producción por planta en secano que con riego. Esto llevó a una mayor productividad del agua en secano que con riego, a pesar de que ambos tratamientos recibieron un aporte similar de agua, principalmente por las precipitaciones.

Estos resultados indicarían que la eficiencia del agua en el Valle de Calamuchita es mayor en secano que con riego, incluso considerando años con gran variabilidad en las condiciones ambientales (por ej. temperatura, demanda evapotranspiratoria, pluviometría), como fueron las temporadas estudiadas.

Tabla 6. Productividad del agua en secano y con riego estándar (R1) y riego previo a brotación (R2), en 2018 y 2019. PA UVA: productividad del agua considerando el rendimiento de la uva; PA PODA: productividad del agua considerando el peso de la poda; PA UVA+PODA: productividad del agua considerando el rendimiento de la uva más el peso de la poda. Valle de Calamuchita, Córdoba.

Table 6. Water productivity in dry land and with standard irrigation (R1) and irrigation prior to sprouting (R2), in 2018 and 2019. PA GRAPE: water productivity considering grape yield; PA PRUNING: water productivity considering the weight of pruning; PA GRAPE+PODA: water productivity considering the yield of the grape plus the weight of the pruning. Calamuchita Valley, Córdoba

Año	Tratamiento	PA UVA (kg.m ⁻³)	PA PODA (kg.m ⁻³)	PA UVA+PODA (kg.m ⁻³)
2018	Secano	0,89	0,2	1,09
	Riego	0,41	0,14	0,55
	<i>p-valor</i>	<0,0001	0,0029	<0,0001
2019	Secano	0,7	0,1	0,8
	Riego	0,49	0,09	0,58
	<i>p-valor</i>	0,0156	0,2927	0,0073

Valores en negrita indica diferencias significativas de acuerdo a la prueba Tukey ($p \leq 0,05$)

6 DISCUSIÓN

En el presente estudio se realizó una caracterización sobre la factibilidad de llevar a cabo el cultivo de la vid en secano en cv. Malbec en el Valle de Calamuchita, donde existen muy pocos antecedentes acerca de la necesidad hídrica del cultivo. Con este trabajo se buscó contribuir con información sobre el comportamiento de la vid en condiciones climáticas y ambientales que difieren de las regiones tradicionales vitivinícolas de Argentina. En este trabajo se pudo determinar que en Calamuchita es posible llevar a cabo una viticultura en secano en el cv. Malbec, sin afectar el desarrollo de las plantas ni los rendimientos y preservar el recurso hídrico de la región. La productividad del agua aumentó en ambos años de estudio sin consecuencias negativas en el rendimiento ni la composición química de la uva. Sin embargo, es necesario continuar con las investigaciones para evaluar las respuestas de las plantas al secano y determinar la sostenibilidad a largo plazo de esta práctica en el viñedo a través de los años.

6.1 Caracterización Climática

Las temporadas de estudio presentaron marcadas diferencias en cuanto a las condiciones climáticas. En términos generales, la temperaturas máximas y mínimas medias registradas en 2017/2018 fueron más extremas que los valores históricos y que la temporada 2018/2019, lo que llevó a una mayor amplitud térmica. Mientras que 2018/2019, las máximas medias en general, fueron más bajas que los registros históricos, pero no así las mínimas medias, por lo que la temporada 2018/2019 fue menos cálida y con menor amplitud térmica. Por otro lado, la precipitación durante el ciclo en 2017/2018 fue un 10% inferior al valor histórico, mientras que en 2018/2019 fue superior en un 22% a la media histórica y en un 27% a la temporada 2017/2018. Cabe destacar que en 2018/2019 el 70% de las lluvias y el descenso de las temperaturas máximas se produjeron durante los meses de enero, febrero y marzo. Estas condiciones generaron una ralentización de la madurez, en particular en relación con la acumulación de azúcares, la cual no alcanzó los 24° Brix. Estas condiciones climáticas obligaron a una cosecha anticipada para evitar problemas fitosanitarios en la uva.

Con respecto a la evapotranspiración de referencia (ET_0) en la temporada 2018/2019 fue un 57,7% menor con respecto a la temporada 2017/2018. Esto se explica por las abundantes precipitaciones producidas y las bajas temperaturas máximas medias registradas en 2018/2019. La ET_0 acumulada desde brotación hasta cosecha durante esta temporada fue similar a la registrada por otros autores en zonas húmedas (DO Ria Baixa, España) donde el nivel de pluviometría se asemeja al del Valle de Calamuchita (Cancela et al., 2016). Por otro lado, la ET_0 acumulada en 2017/2018 fue comparable con la obtenida por otros autores en regiones más áridas (Intrigliolo & Castel, 2009). Por ejemplo, la provincia de Mendoza (clima árido), posee una ET_0 de 839mm desde octubre hasta abril (Clément, 2011), valor comparable con la ET_0 registrada en Calamuchita en 2017/2018 en el mismo período ($ET_{0oct-abr}=893mm$), pero superior a la temporada 2018/2019 ($ET_{0oct-abr}=488mm$). Conocer las condiciones climáticas de cada región es importante para un correcto manejo del riego, debido principalmente a la variabilidad en la distribución temporal de las precipitaciones, la cual podría aumentar como consecuencia del cambio climático (Cancela et al., 2016; Cruz et al., 2009). En base a las proyecciones de cambio climático en Córdoba, la zona occidental de la provincia posee una vulnerabilidad a la sequía con un nivel alto a muy alto (54% al 84%). Las áreas de mayor riesgo coinciden con la zona serranas, con suelos franco arenosos que

poseen baja capacidad de retención de agua. En estas zonas se espera una disminución de los valores pluviométricos (<659 mm) y un mayor déficit hídrico, superior al 35% debido a una alta demanda hídrica de los sistemas productivos agrícola-ganadero (Rivarola et al., 2008). Por este motivo, para llevar a cabo una programación dinámica del riego en el viñedo, resulta fundamental la utilización de indicadores del estado hídrico de las plantas y del suelo (Cancela et al., 2016, 2015).

A través de los índices bioclimáticos, se logró establecer por primera vez una caracterización climática preliminar de la zona. Estos índices son sólo preliminares e ilustrativos de cómo fueron las condiciones del Valle de Calamuchita durante las temporadas de estudio, las cuales fueron muy diferentes entre sí. No deben tomarse como definitivos para la zona ya que para ello hacen falta series de tiempo más largas (20 o 30 años), de manera de poder considerar la variabilidad interanual. Los índices obtenidos, exceptuando la integral térmica de Winkler, presentaron variaciones entre las temporadas de estudio. El índice heliotérmico de Huglin (IH) obtenido en 2017/2018 fue superior que en 2018/2019. Esto implica que la primer temporada de estudio presentó un clima cálido similar al de regiones como Cádiz en España y Nabeul en Turquía (Tonietto & Carbonneau, 2004). Mientras que en 2018/2019, presentó un clima templado-cálido, similar a regiones como Nutriootpa en Australia y Montpellier en Francia (Tonietto & Carbonneau, 2004). Por otro lado, el índice de frescor nocturno en 2018 identificó al Valle de Calamuchita con noches muy frescas, al igual que regiones como Santiago de Chile y Colmar, Alsacia, Francia (Tonietto & Carbonneau, 1998), mientras que en 2019 con noches templadas al igual que Jerez de la Frontera, España y Évora, Alentejo, Portugal (Tonietto & Carbonneau, 1998). Cabe aclarar que, en 2019 la temperatura mínima media del mes previo a cosecha fue superior a los 14°C, superando así el umbral mínimo establecido por Tonietto & Carbonneau (1998) con relación al color e intensidad aromáticas de las bayas. Con respecto al IS, la temporada 2017/2018, presentó un clima vitivinícola moderadamente seco. Este tipo de clima se caracteriza por condiciones donde la vid puede presentar cierto nivel de sequía, siendo ésto favorable para la maduración de las bayas. En estas zonas, el riego se aplica en determinados casos. Ejemplos de regiones con este clima son Montpellier, Francia y Madeira, Portugal (Tonietto & Carbonneau, 1998). Sin embargo, la temporada 2018/2019, presentó un IS superior, lo que categorizó al Valle de Calamuchita como una zona de clima vitivinícola húmedo. Tonietto

& Carbonneau (1998) describieron a este tipo de zonas con ausencia de sequía y alta disponibilidad de agua con tendencia al exceso en relación a la calidad de las bayas. Regiones con este nivel de IS son también Sierra Gaucha, Brasil y Borgoña, Francia. La diferencia del IS obtenido para ambas temporadas, son consecuencia de la variabilidad climática registrada durante este estudio. La temporada 2017/2018 fue más cálida, con menor precipitaciones y mayor ET_0 acumulada, mientras que 2018/2019 tuvo temperaturas más bajas, mayor nivel de precipitaciones y menor ET_0 acumulada.

6.2 Coeficiente de cultivo (k_c), evapotranspiración del cultivo (ET_c) y lámina de agua aplicada

En este estudio, la estimación del k_c a través de la sombra proyectada por la canopia no presentó diferencias entre las plantas irrigadas y en secano. Si bien Williams & Ayars (2005) determinaron que las diferencias en la estimación de k_c pueden deberse a las prácticas culturales, como la cantidad y frecuencia de riego, en este estudio la lámina de agua aplicada a través del riego no impactó sobre el valor del k_c . La obtención de este coeficiente puede ser de utilidad para los viticultores de la región, ya que, si bien todos los viñedos aplican riego por goteo, nunca se había obtenido un valor de k_c . Sin embargo, es conveniente que los valores de k_c estimados a través de la sombra proyectada por la canopia sean determinados en los diferentes viñedos y varietales del Valle de Calamuchita, debido a la variabilidad existente en cuanto al desarrollo vegetativo de las plantas.

El k_c inicial (posterior a la brotación) fue de 0,1; luego en floración se obtuvo un k_c de 0,35, y finalmente luego del cuaje se alcanzó un máximo de 0,6, manteniéndose constante hasta el envero. En este estudio, la evolución de k_c en función a los grados días acumulados (GDA), presentó diferencias respecto a lo obtenido por otros autores. Williams & Ayars, (2005) en California, en cv. Thompson Seedless, determinaron un k_c de 0,2 a los 200 GDA, de 0,6 a los 500 GDA y un k_c máximo de 0,9 aproximadamente a los 800 GDA. Morgani et al., (2022) en Luján de Cuyo, Mendoza, en cv. Malbec, establecieron un k_c de 0,4-0,5 a los 200 GDA, y de 0,7-0,8 a partir de los 500 GDA. Mientras que, en nuestro estudio, también en cv. Malbec, a los 200 GDA se obtuvo un k_c aproximado de 0,4, y a los 500 GDA se alcanzó el k_c máximo de 0,6. Si bien en este trabajo a los 200 GDA se obtuvo un k_c superior en comparación con el estudio de Williams & Ayars (2005), en ambos trabajos a los 500 GDA

se determinó un k_c de 0,6, el cual fue el valor máximo registrado en Calamuchita, mientras que para Williams & Ayars (2005) el k_c siguió aumentando hasta alcanzar un máximo de 0,9. A su vez, el valor de k_c obtenido en este estudio a los 200 GDA fue aproximado al determinado por Morgani et al. (2022) en cv. Malbec en Mendoza. Sin embargo, el k_c máximo registrado en Calamuchita fue menor que el de Mendoza a los 500 GDA. Otros autores en otras regiones, determinaron valores de k_c máximos de 0,75 a 1, también más elevados que los registrados en este estudio (Picón-Toro et al., 2012; Cancela et al., 2015). Varios autores han determinado que el valor de k_c depende del tamaño, altura y arquitectura de la canopia (Hatfield, 1990; Allen et al., 1998; Picón-Toro et al., 2012) y del área foliar e índice de área foliar (Williams et al., 2003; Williams & Ayars, 2005). Por lo tanto, el menor valor de k_c máximo registrado en este estudio en comparación con otras regiones, estaría relacionado con un menor desarrollo vegetativo de las plantas en la temporada 2017/2018.

Por otro lado, se observó que la ET_c acumulada durante la temporada en 2018/2019 fue inferior que en 2017/2018. Si bien en ambas temporadas se empleó el mismo k_c , la ET_0 en la segunda temporada de estudio, fue menor que en la primera. A su vez, en 2017/2018, la lámina de agua recibida por las plantas del tratamiento R1 (riego estándar más lluvias efectivas) superó los mm de ET_c acumulados, mientras que la lámina de agua en secano (sólo lluvias efectivas), se mantuvo durante toda la temporada en el mismo nivel que la ET_c . Este resultado indicaría que el agua aplicada a través del riego, excedería la demanda evapotranspiratoria del cultivo. Por otro lado, en 2018/2019 la lámina de agua recibida por las plantas en R2 (riego previo a brotación más lluvias efectivas) y en secano (sólo lluvias efectivas), superaron la ET_c durante toda la temporada, y la ET_0 al final del ciclo. Este resultado se explicaría por las abundantes precipitaciones producidas y la baja ET_0 obtenida durante la temporada. Estos resultados indican que más allá de la variación interanual en las condiciones ambientales, la disponibilidad de agua a través de las precipitaciones fue suficiente para satisfacer la demanda en ambas temporadas.

6.3 Estado Hídrico

A pesar de que la temporada 2017/2018 fue menos lluviosa de lo habitual, el estado hídrico de las plantas en secano determinado a través de la conductancia estomática (g_s), se mantuvo por encima de $200 \text{ mmol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ durante toda la temporada, valor considerado como

el umbral por encima del cual las plantas se encuentran sin restricción hídrica (Cifre et al., 2005). Sin embargo, la primera medición realizada al inicio del ciclo, en ambos tratamientos, fue inferior a este umbral mínimo (Secano=132,3 mmol m⁻² s⁻¹ y Riego=143,3 mmol m⁻² s⁻¹), probablemente debido a la edad y el tamaño de las hojas. En numerosos estudios realizados se ha determinado que existe una disminución de la g_s en respuesta a diferentes niveles de restricción hídrica (Fernandes de Oliveira et al., 2013; Souza et al., 2003). Los resultados obtenidos en este trabajo coinciden con otros autores en diferentes regiones lluviosas de España, donde no se observaron diferencias en el estado hídrico de plantas en secano y con irrigación (Mirás-Avalos et al., 2012 y 2016; Trigo et al., 2014; Cancela et al., 2016). A su vez, los valores observados (mayores a 200 mmol m⁻² s⁻¹) indicarían que tanto plantas con riego como en secano no presentaron déficit hídrico durante toda la temporada (Riveros, 2002; Cifre et al., 2005). Sin embargo, el ANOVA realizado para cada fecha de medición de g_s , indicó que el 24 de diciembre de 2017 (previo a enero) las plantas de secano tuvieron una menor g_s en relación a las plantas irrigadas. Si bien en esa fecha la g_s de las plantas de secano estuvo por encima del valor umbral mínimo (275,4 mmol m⁻² s⁻¹), es probable que haya ocurrido un leve déficit hídrico temporal.

En ocasiones, las plantas ante un déficit hídrico presentan una disminución del área foliar y del crecimiento vegetativo como estrategia para reducir la transpiración, sin necesidad de afectar la g_s (Cohen, 1996; Sánchez-Díaz & Aguirreolea, 2000). Sin embargo, en este estudio, tampoco se observaron diferencias significativas en el desarrollo vegetativo, lo que permite afirmar que, en general durante todo el ciclo, las plantas en secano no presentaron déficit hídrico.

El cierre de los estomas es uno de los primeros procesos que ocurre en la hoja como respuesta a la sequía y dado que es una medida que integra la respuesta de la planta a distintos factores, ha sido propuesta como uno de los indicadores más precisos del estado hídrico de las plantas (Jones, 2004; Cifre et al., 2005). Algunos autores han establecido una relación entre g_s y el potencial hídrico de las hojas pre-amanecer, ya que la g_s disminuye a medida que disminuye el potencial hídrico. En base a esta relación, es posible determinar diferentes fases de déficit hídrico en las plantas (Cifre et al., 2005; Schultz, 2003). Valores de g_s superiores a los 150/200 mmol H₂O m⁻²s⁻¹, corresponden a un potencial hídrico pre-amanecer superior a -0,2 MPa, lo que indica que la restricción hídrica es nula. Sin embargo, una g_s

inferior a $150 \text{ mmol H}_2\text{O m}^{-2}\text{s}^{-1}$ pero superior a $50 \text{ mmol H}_2\text{O m}^{-2}\text{s}^{-1}$, se relaciona con un rango de potencial hídrico de preamanecer de entre $-0,2$ y $-0,4$ MPa, lo que indica una restricción hídrica de leve a moderada. En estos valores de g_s y potencial hídrico el crecimiento vegetativo comienza a detenerse, y la fotosíntesis disminuye pero se revierte rápidamente al volver a regar (Vallone et al., 1997; Cifre et al., 2005). A su vez, una g_s inferior a $50 \text{ mmol H}_2\text{O m}^{-2}\text{s}^{-1}$, se relaciona con un potencial hídrico de preamanecer menor a $-0,4$ MPa, lo que indica una restricción hídrica severa. En esta situación, existe una detención del crecimiento vegetativo y una inhibición de la fotosíntesis por la disminución de la actividad y cantidad de enzimas fotosintéticas. En esta etapa la fotosíntesis no se recupera luego del riego (Maroco et al., 2002; Flexas et al., 2004; Cifre et al., 2005). En este estudio no fue posible la medición del potencial hídrico; pero las relaciones establecidas previamente por otros autores sugieren que los valores de potencial hídrico de preamanecer estuvieron cercanos a $-0,20$ MPa. Esto indica, que las plantas en secano no presentaron déficit hídrico (Vallone et al., 1997). Sería recomendable medir simultáneamente y sobre la misma hoja el potencial hídrico y la g_s a lo largo del día y durante las diferentes etapas del ciclo, para determinar la relación entre ambas variables en el Valle de Calamuchita.

A lo largo del día se producen variaciones en los valores de g_s debido a cambios en el déficit de presión de vapor (DPV) y la temperatura (Jones, 1998, 2004; López, 2005; Speirs et al., 2013). En este trabajo, la relación de ambas variables fue igual para los dos tratamientos. Se observó un aumento de g_s en función del DPV, hasta un valor umbral de DPV (3 kPa) a partir del cual la g_s se mantuvo constante. Esta relación es diferente de la obtenido por otros autores, quienes determinaron que la g_s disminuye linealmente a medida que aumenta el DPV, es decir que mientras más elevado es el DPV, se produce un cierre estomático como respuesta de la planta a la deshidratación (Speirs et al., 2013; López, 2005).

En este estudio no fue posible determinar una disminución de g_s ante los aumentos en el DPV debido a tres razones. En primer lugar, los valores máximos de DPV registrados los días de lectura de g_s , en general se mantuvieron alrededor de los 2,5 kPa. Sólo un día el DPV superó los 4 kPa, pero no existió una disminución de g_s sino que se mantuvo en los mismos valores. En segundo lugar, los intervalos de tiempo entre las lecturas de g_s (diez días), probablemente impidieron la detección de los cambios ante las variaciones de DPV. Por lo tanto, se requerirían lecturas frecuentes de g_s a lo largo del día para lograr establecer el valor

umbral de DPV a partir del cual se produce una disminución de g_s . En nuestro estudio, la medición de g_s se realizó durante la mañana hasta el mediodía, con el objetivo de obtener el máximo en ambos tratamientos. Esto podría explicar por qué en nuestros datos no hay valores que permitan observar la disminución de g_s a altos valores de DPV. Por último, la g_s de las plantas posiblemente no haya disminuído frente al aumento del DPV como en otros estudios, porque en este trabajo el recurso hídrico edáfico no fue limitante. Siendo que existe un acople ente g_s y la conductancia hidráulica (k_L), y que g_s está determinada mecánísticamente por el DPV y por este acople, el cierre del poro estomático respondió no solo al DPV, sino al agua que llegó desde el suelo, según se acoplaran o desacoplaran ambas conductancias (Buckley, 2005; Hugalde et al., 2018).

Si bien varios autores han determinado que la conductancia estomática es un indicador preciso del estado hídrico de las plantas (Medrano et al., 2002, 2003; Flexas et al., 2002; Jones, 2004; Cifre et al., 2005), otros autores concluyeron que no es adecuada para establecer estrategias de riego, ya que no indica la lámina de riego a aplicar ni su frecuencia. Sin embargo, en este estudio la utilización de g_s fue una herramienta adecuada para la determinación del estado hídrico, ya que los valores obtenidos se complementaron con los resultados de las demás variables (desarrollo vegetativo y componentes de rendimiento y evolución de madurez) al indicar que no hubo déficit hídrico en las plantas en secano. Es importante destacar que la utilización de la conductancia estomática como herramienta para la determinación del estado hídrico, requiere muchas réplicas de medición debido a la variabilidad que existe entre hojas (Jones, 2004; López, 2005).

6.4 Desarrollo Vegetativo

Las diferentes variables medidas en este estudio y utilizadas como indicadores de crecimiento vegetativo de las plantas, no manifestaron diferencias significativas entre los tratamientos en ninguna de las dos temporadas de estudio. En 2017/2018, el crecimiento y longitud final de brotes, índice de área foliar, peso del despampanado y peso de poda, fueron iguales en las plantas irrigadas que en secano. En 2018/2019, el peso del despampanado y el peso de poda también fue igual entre las plantas irrigadas previo a brotación y en secano. El crecimiento vegetativo es la variable más sensible a una restricción hídrica ya que el

transporte de agua es fundamental en el proceso de crecimiento por expansión celular (Hsiao & Xu, 2000; Jones, 2004). Bajo condiciones de estrés hídrico las plantas pueden reducir su área foliar como estrategia para disminuir la transpiración sin afectar la conductancia estomática (Cohen, 1996; Sánchez-Díaz & Aguirreolea, 2000). En el presente estudio la condición de secano no afectó el estado hídrico (determinado por la conductancia estomática) ni el crecimiento vegetativo de las plantas. Además, tampoco hubo un mayor crecimiento de brotes secundarios como respuesta a la irrigación y al despampanado, tal como afirman otros autores (Hunter & Archer, 2002; Wample & Smithyman, 2002; Pellegrino et al., 2005; Simonneau et al., 2015). Coincidente con el presente trabajo, se ha observado que en zonas lluviosas el crecimiento de brotes, el peso de poda y el área foliar de plantas en secano es igual que con riego (Cancela et al., 2016; Mirás-Avalos et al., 2012; Trigo et al., 2014). Sin embargo, este resultado difiere con lo observado principalmente de regiones áridas y semiáridas, donde la restricción hídrica reduce el desarrollo vegetativo en comparación con plantas bien irrigadas (Bravdo et al., 1985; Intrigliolo et al., 2012; Intrigliolo & Castel, 2010).

Por otro lado, el índice de área foliar (IAF) obtenido a través de la aplicación Viticanopy ($IAF_{\text{secano}}= 0,84$ y $IAF_{\text{riego}}=0,82$) fue menor que los valores de IAF reportados por otros autores. Williams y Ayars (2005) en cv. Thompson Seedless determinaron un IAF máximo de 4,5, mientras que Barajas et al (2003) en cv. Tempranillo obtuvieron un IAF de entre 1,5 y 3 en función del año. A su vez, Allen et al. (1998) han reportado un IAF de 3 como una estimación cuando la cobertura de la canopia es total. Por lo tanto, en este estudio se estimó un IAF de manera alternativa a través de una ecuación determinada por Williams & Ayars (2005) a partir del valor máximo de k_c alcanzado luego del envero ($k_{c \text{ riego y secano}}= 0,6$). De esta manera, se obtuvo un IAF mayor y similar a lo reportado por otros autores ($IAF_{R1 \text{ y secano}}= 2,06$) en comparación con el estimado a través de Viticanopy. El valor que arroja la aplicación es un valor relativo, es decir, que permite comparar distintos tratamientos, pero no es un valor absoluto, por lo que probablemente no se pueda comparar directamente con otros trabajos de otras zonas (De Bei et al., 2016).

Con respecto a la variación en el desarrollo vegetativo entre las temporadas, es importante destacar que las plantas en secano mantuvieron el mismo crecimiento vegetativo de una temporada a la otra. No se evidenciaron efectos acumulativos de un año al otro, lo cual podría indicar un impacto negativo en la sostenibilidad del cultivo a mediano o largo

plazo. Algunos trabajos en Malbec en Mendoza, determinaron que luego de 4 años de déficit hídrico excesivo, se produce una disminución del peso de poda, lo que genera una disminución en el rendimiento en la temporada siguiente (Dayer et al., 2013). Nuestros resultados de 2 temporadas indican que el secano no afectaría el crecimiento vegetativo en temporadas sucesivas. Por otro lado, la disminución significativa en el peso de poda de las plantas irrigadas entre la primera y segunda temporada de estudio difieren de lo esperado, ya que las lluvias excesivas o el riego, generarían un mayor crecimiento de los brotes y por lo tanto un mayor peso de poda (Chaves et al., 2007; Mirás-Avalos et al., 2016). La temporada 2018/2019 tuvo un 27% más de precipitaciones que la temporada 2017/2018; sin embargo, el desarrollo vegetativo de las plantas irrigadas disminuyó. Esta diferencia podría estar relacionada con la variación en las temperaturas medias de cada temporada. La temperatura es un factor importante para el crecimiento vegetativo de la vid por su estrecha relación con los procesos metabólicos de la planta. En este estudio, en 2018/2019 se registraron temperaturas medias más bajas en comparación al ciclo 2017/2018, lo que posiblemente haya impactado negativamente en el crecimiento de las plantas. Por lo tanto, bajo las condiciones climáticas del Valle de Calamuchita, el desarrollo de las plantas en secano es igual al de plantas regadas según las prácticas comunes de los viticultores de la región (200 mm aproximadamente en la temporada).

6.5 Componentes del rendimiento

En 2018 el rendimiento, número y peso de racimos de las plantas en secano fue igual que en las plantas irrigadas. Esto indica que la condición de secano no tuvo un efecto negativo sobre la producción de las plantas. Algunos autores afirman que, ante una restricción hídrica, la producción por planta es afectada de forma negativa (Jackson & Lombard, 1993; Junquera et al., 2012; Intrigliolo et al., 2012). Sin embargo, en este trabajo ninguna de las variables determinadas en 2018 (conductancia estomática y desarrollo vegetativo) indicaron que las plantas de secano presentaran un déficit hídrico. En consecuencia, la producción por planta entre los tratamientos no presentó diferencias significativas. Este resultado concuerda también con estudios realizados en zonas también con riego complementario, en donde no hubo diferencias en la producción de las plantas irrigadas y en secano (Mirás-Avalos et al., 2012; Cancela et al., 2016). En cambio, en 2019 la productividad de las plantas en secano

fue un 20% superior a las irrigadas previamente a la brotación, indicando un efecto negativo del riego sobre la productividad de las plantas. Sin embargo, el número y peso de racimos no presentaron diferencias significativas entre tratamientos, aunque hubo una tendencia de racimos con mayor peso en secano. Este resultado podría estar explicado por diferencias en el peso de las bayas, sin embargo, en la cosecha 2019 esa variable no fue determinada, por lo que se sugiere repetir dicha medición. Otros autores también han determinado, en otros varietales, menor producción en plantas irrigadas que en secano (Mirás-Avalos et al., 2012; Trigo et al., 2014; Cancela et al., 2018). Algunos autores sostienen que las respuestas en la producción, número y peso de racimos a diferentes estrategias de riego se manifiestan a partir del segundo año de ensayo. Junquera et al. (2012) y Reynolds et al. (2007) no observaron diferencias significativas en el rendimiento entre diversas estrategias de riego hasta el tercer y segundo año de ensayo, respectivamente. Esta respuesta a largo plazo en la productividad de la planta ante variaciones en el suministro de agua se explica ya que los carbohidratos mantenidos en reserva por la planta pueden movilizarse ante una situación de estrés, enmascarando los efectos de las condiciones establecidas por los tratamientos. A su vez, las lluvias y las características del suelo explorado por las raíces, pueden amortiguar la disminución del rendimiento, en condiciones de riego deficitario o incluso de secano (Junquera et al., 2012). Sin embargo, a diferencia de lo sugerido por los autores anteriormente mencionado, en este ensayo en 2019 (segundo año de ensayo) las plantas en secano tuvieron un 60% más de producción que en 2018 (primer año de ensayo). Este incremento significativo en la producción por planta y en el peso de los racimos en 2019 en ambos tratamientos, podría estar relacionado a las elevadas precipitaciones registradas ese año. En este ensayo, el rendimiento del cultivo promedio entre 2018 y 2019 del cv. Malbec fue de 36 qq.ha⁻¹. Según las estadísticas aportadas por el Instituto Nacional de Vitivinicultura, en 2019 la Provincia de Córdoba tuvo un rendimiento de 32 qq.ha⁻¹ de uva, mientras que la Provincia de Mendoza 113 qq.ha⁻¹. Por lo tanto, Córdoba posee rendimientos inferiores a otras regiones vitícolas, lo que posiblemente esté explicado por factores como las condiciones climáticas (heladas tardías en octubre) y la edad de los viñedos (el 35,4% de los viñedos tienen menos de 11 años).

Por otro lado, el índice de Ravaz (IR) no presentó diferencias entre las plantas de secano y con riego en ninguno de los años de estudio. En 2017/2018 los valores de IR

estuvieron por debajo del rango óptimo ($IR=4$), lo que indicó que hubo un exceso de vigor en relación a la producción (Smart & Robinson, 1991). Sin embargo, en 2018/2019 el IR incrementó significativamente en ambos tratamientos, indicando un mayor equilibrio entre el desarrollo vegetativo y reproductivo de las plantas ($IR=8$), determinado principalmente por el aumento en la producción por planta en ambos tratamientos en 2019. Cancela et al., (2016) obtuvieron también valores de IR inferiores al rango óptimo en regiones con alto nivel de precipitaciones. A su vez, Fernandes de Oliveira et al. (2013) al evaluar diferentes estrategias de riego en una zona mediterránea y de baja pluviometría, obtuvieron valores de IR superiores al rango óptimo, pero sin diferencias entre los diferentes niveles de riego. Por otro lado López et al. (2007), obtuvieron valores de IR dentro del rango óptimo y significativamente superior en plantas irrigadas que en secano. Por lo tanto, según los valores obtenidos en ambas temporadas, en la zona en estudio existe un margen de aumento del rendimiento manteniendo las plantas dentro de los rangos de equilibrio (como lo observado la segunda temporada). Además, el rango de IR óptimo ($5 < IR < 10$) puede variar dependiendo del varietal y de las condiciones climáticas de la zona, por lo que sería interesante determinar el rango óptimo de IR para el Valle de Calamuchita, a través de diferentes niveles de rendimiento.

6.6 Evolución de madurez

El máximo peso de baya se alcanzó aproximadamente a los 25 días previos a la cosecha (28 de febrero) en ambos tratamientos. Esto indicaría que en ese momento la producción de las plantas, y por ende el rendimiento, hubiese alcanzado valores superiores a los obtenidos en la cosecha (26 de marzo). Sin embargo, cuando las bayas alcanzaron el máximo peso, la concentración de azúcar era inferior (21° Brix) a lo buscado para la cosecha. Cabe aclarar que el objetivo comercial de la empresa es cosechar con valores cercanos a los 24° Brix, ya que se considera que en ese punto la madurez es óptima para la elaboración de vinos tintos con potencial de guarda. En este trabajo, durante el período comprendido entre el máximo peso de baya y la cosecha, las bayas disminuyeron un 9.7% su peso, pero los grados Brix aumentaron un 11% (Figura 14). El peso de la baya no varía demasiado entre su máximo y el momento en el cual se alcanza la cantidad máxima azúcar por baya (g/baya), lo cual ocurrió a los 22° Brix (Figura 14), por lo cual, se podría definir ese momento como

óptimo para la cosecha de uvas destinadas a la elaboración de vinos jóvenes, sin disminuir el rendimiento. Incluso, en 2019 si bien no fue posible realizar el seguimiento de madurez, la cosecha se realizó con 22° Brix debido a las contingencias climáticas, logrando una mayor producción por planta, posiblemente por cosecharse antes que comience la deshidratación de las bayas (Vila et al., 2010). Esto también explicaría el aumento de rendimientos de las plantas en secano entre el 2018 y el 2019

A su vez, al momento de cosecha, en 2018, la concentración de sólidos solubles (°Brix) no fue afectada por los tratamientos. Las plantas con riego y en secano fueron cosechadas en el mismo momento con 24°Brix. Estos resultados coinciden con los trabajos de Mirás-Avalos et al. (2012), Trigo et al. (2014) y Cancela et al. (2016) quienes tampoco observaron diferencias en la concentración de azúcar en secano y con riego en zonas con riego complementario. Sin embargo, Reynolds et al. (2007) determinaron que los grados Brix fueron más bajos en plantas irrigadas que en secano, sólo en uno de tres años de ensayo. Otros autores, tampoco han observado en general, diferencias en los grados Brix al momento de cosecha bajo diferentes estrategias de riego en zonas áridas y semiáridas (Bravdo et al., 1985; Intrigliolo et al., 2012; Junquera et al., 2012; Pueyo et al., 2014).

La cantidad de azúcar (g/baya) y la ganancia diaria porcentual de azúcar por baya, permitió determinar el momento de máximo contenido de azúcar a la baya. Dicho momento, para ambos tratamientos, coincidió con 22° Brix (Figura 15). El aumento posterior de los grados Brix hasta la cosecha, estaría relacionado a la deshidratación de la baya (Vila et al., 2010). Por lo tanto, tal como se mencionó anteriormente, el momento en el cual las bayas alcanzan los 22° Brix, podría considerarse como óptimo para cosechar, sin que se produzcan mermas en el rendimiento. En este sentido, no se cumpliría con el objetivo comercial de la empresa, el cual se basa en que la cosecha debe realizarse cuando las uvas alcanzan los 24°Brix, pues en ese momento, el perfil polifenólico de las bayas es el adecuado para elaborar vinos tintos de alta gama (Kennedy et al., 2001, 2002; Vila et al., 2010). Sin embargo, en el Valle de Calamuchita no existen trabajos previos que determinen la evolución polifenólica de las bayas en función al tiempo y en función de la concentración de azúcar (grados Brix). Por lo tanto, resulta importante para el futuro, determinar en esta zona la evolución de los compuestos fenólicos con relación a la concentración de azúcar y tiempo de madurez, para

complementar la decisión del momento óptimo de cosecha, de acuerdo con el objetivo buscado.

En este estudio, durante la temporada 2017/2018 no hubo diferencias significativas ni en la acidez total ni en el pH entre riego y secano. La evolución de ambas variables durante la madurez fue igual para ambos tratamientos. El valor final de ambas variables está fuertemente relacionado a las condiciones climáticas, principalmente por la temperatura (Reynolds et al., 2005, 2007; Intrigliolo & Castel, 2010; Intrigliolo et al., 2012; Trigo et al., 2014). En climas mediterráneos con bajos niveles de precipitaciones durante el ciclo del cultivo, la aplicación de un riego deficitario, incluso el secano, tiende a incrementar levemente el pH y disminuir la acidez total (Intrigliolo et al., 2012; Intrigliolo & Castel, 2010). Por otro lado, Junquera et al. (2012), al evaluar la respuesta de diferentes niveles de riego en Cabernet Sauvignon, también en clima mediterráneo, observaron que la acidez total de las bayas aumentó en respuesta al riego. A su vez, en regiones de clima húmedo, se ha observado un aumento de la acidez total en plantas irrigadas en comparación con secano, en un solo año de estudio. Sin embargo, el pH fue igual para ambos tratamientos (Trigo et al., 2014). Por otro lado, Mirás-Avalos et al. (2012) y Cancela et al. (2016), en zonas húmedas, no observaron diferencias significativas ni en la acidez total ni en el pH entre riego y secano, indicando que el agua aplicada no tiene efecto sobre dichas variables (Reynolds et al., 2005, 2007), lo cual coincide con el resultado obtenido en este estudio.

Es importante destacar que, al momento de la cosecha las bayas de ambos tratamientos presentaron niveles elevados de pH y baja acidez total. Esto podría estar relacionado a la fecha de cosecha que se realizó en una etapa de madurez avanzada. Al analizar la evolución de pH y acidez total, se observa que a los 22° Brix (momento de máxima azúcar por baya) las bayas presentaban un pH más bajo y una acidez total algo más elevada de la obtenida con 24° Brix (Figura 16). Si bien la cosecha se realizó siguiendo el criterio para la elaboración de vinos de guarda, es importante considerar otras variables como el pH y la acidez para decidir la cosecha. A su vez, el elevado nivel de pH y la baja acidez podría también explicarse por las altas temperaturas máximas medias, en comparación con la media histórica, principalmente durante el mes de marzo. Varios autores han determinado que las temperaturas elevadas durante el verano aceleran la disminución de la acidez de las bayas, debido a una degradación principalmente del ácido málico (Kliewer, 1971; Duchêne &

Schneider, 2005; Sweetman et al., 2014). Otras variables que podrían estar asociadas a los niveles de acidez y pH registrados en cv. Malbec en el Valle de Calamuchita, son las características climáticas en general de la región (Duchêne et al., 2014), la concentración de potasio en las bayas durante la madurez (Matthews & Anderson, 1988), las condiciones microclimáticas de la canopia (Haselgrove et al., 2000), el varietal (Shiraishi, 1995; Fanzone, 2012; Duchêne et al., 2014) y el tipo de portainjerto (Matocq, 2004).

6.7 Composición fenólica

Al evaluar las bayas al momento de la cosecha en 2018, se determinó que no hubo diferencias significativas con respecto al peso total de las bayas, peso de hollejos y número y peso de semillas entre tratamientos. Si bien las plantas irrigadas en 2018 recibieron un 48% más de agua que las plantas de secano, el desarrollo de las bayas fue igual en ambos tratamientos.

Algunos autores han observado variaciones en el contenido de polifenoles de hollejos ante un déficit hídrico. Dichas variaciones pueden ser positivas o negativas en función de la intensidad y del momento fenológico en el cual se aplique la restricción hídrica (Ojeda et al., 2002; Castellarin & Di Gaspero, 2007; Sofo et al., 2012). Otros autores sostienen que, ante un déficit hídrico, el aumento en polifenoles puede ser indirectamente consecuencia del menor tamaño de las bayas, lo que lleva a una mayor relación hollejo-pulpa. Además, el menor desarrollo vegetativo producido por el déficit hídrico, da lugar a una mayor incidencia de la luz solar sobre los racimos, favoreciendo la síntesis de compuestos polifenólicos (Downey et al., 2003; Cortell et al., 2005; Holt et al., 2010; Obreque-Slier et al., 2010; Fanzone, 2012). En este estudio, el tamaño de las bayas, peso de hollejos y desarrollo vegetativo fue igual en secano y con riego estándar. Esto explicaría que no se produjeran diferencias significativas en el contenido de antocianos totales de hollejos entre los tratamientos. Sin embargo, los hollejos de las bayas de secano presentaron un 27% más de fenoles totales y un 51% más de taninos totales que los hollejos de las bayas del tratamiento con irrigación. Este resultado no sería consecuencia de variaciones en el tamaño de las bayas, peso de hollejos o desarrollo de la canopia, ya que estas variables fueron iguales en secano que con riego. Posiblemente el mayor contenido de taninos y fenoles totales en hollejos de plantas de secano, estaría explicado por el leve déficit hídrico registrado previo a envero (24

de diciembre). En este caso, el déficit hídrico puede haber impactado directa y positivamente en la biosíntesis de dichos compuestos (Castellarin & Di Gaspero, 2007). Si bien el análisis de la conductancia estomática a través de modelos lineales mixtos no arrojó diferencias significativas en el estado hídrico de las plantas entre tratamientos, cabe aclarar que las mediciones de conductancia estomática se realizaron en la mañana hasta el mediodía. Es probable que esta estrategia impidiera captar alguna diferencia durante horas de la tarde, cuando la demanda es mayor. Esta regulación estomática, aunque transitoria podría haber tenido algún impacto en el metabolismo secundario de las bayas. Además, se podrían haber producido ligeras modificaciones en el microclima debido a un posicionamiento diferente de las hojas, incidiendo en la concentración final de taninos y fenoles. De todas maneras, no es posible determinarlo con los datos disponibles.

La determinación de polifenoles en este trabajo fue realizada sólo al momento de cosecha, pero se ha determinado que las diferencias en el contenido de polifenoles ante diferentes tratamientos de irrigación, puede variar en función del momento de madurez de las bayas (Esteban et al., 2001). Por lo tanto, resulta de interés para futuros trabajos evaluar la diferencia en el contenido de polifenoles entre tratamientos durante todo el proceso de madurez. Por otro lado, el contenido de fenoles y taninos totales de semillas, no presentaron diferencias entre los tratamientos. Algunos autores han observado una variabilidad en el contenido polifenólico de semillas ante diferentes estrategias de riego (Koundouras et al., 2013; Kyrleou et al., 2016). Sin embargo, en este trabajo el desarrollo del cultivo fue igual con riego que con secano, por lo que el contenido de compuestos polifenólicos de semillas no fue afectado por los tratamientos.

6.8 Productividad del agua

La productividad del agua, determinada a través de la relación entre el rendimiento y el consumo de agua, es una herramienta útil para evaluar la eficiencia en el consumo del agua en el viñedo en climas mediterráneos y semiáridos (Teixeira et al., 2007; Medrano et al., 2015). Para climas húmedos se ha propuesto una modificación del índice de productividad del agua, incluyendo el peso de la poda, al considerar que en dichas regiones se produce un mayor desarrollo vegetativo como consecuencia de las elevadas precipitaciones (Cancela et al., 2016). En este estudio, en la temporada 2017/2018, los tres índices obtenidos fueron

significativamente superiores en las plantas de secano respecto a las plantas con riego estándar. Estas diferencias pueden deberse a que la producción por planta y el peso de poda fue igual en ambos tratamientos, a pesar de que las plantas con riego recibieron un 30% más de agua que las plantas de secano. Por lo tanto, según los resultados obtenidos en este estudio, por cada m^{-3} de agua aplicado, con irrigación se produjeron 0,41 kg de uva, mientras que en secano 0,89 kg (un 46% del agua utilizada con riego). En la temporada 2018/2019, la productividad del agua, medida a través de la producción de uva (PA_{uva}), y de la producción de uva más la poda ($\text{PA}_{\text{uva+poda}}$), también fue mayor en secano que con riego previo a brotación. En esta temporada por cada m^{-3} de agua aplicado, las plantas irrigadas produjeron 0,4 kg de uva, mientras que en secano fueron 0,7 kg de uva (un 70% del agua utilizada con riego). En la temporada 2018/2019, el ahorro de agua entre los tratamientos fue menor que en 2017/2018 debido a que las plantas de ambos tratamientos recibieron un aporte de agua similar, como consecuencia de las abundantes precipitaciones producidas y el bajo aporte de agua a través del riego en R2 (sólo antes de brotación). Además, la diferencia significativa observada entre los índices de PA_{uva} y $\text{PA}_{\text{uva+poda}}$ en 2018/2019, se explicaría por la mayor producción de uva de las plantas en secano en comparación con las irrigadas (R2).

Los valores de PA_{uva} y PA_{poda} promedio entre tratamientos obtenidos por Cancela et al. (2016) en la DO Ría Baixas (738 mm promedio durante el ciclo del cultivo) fueron de 1,2 kg m^{-3} y 0,6 kg m^{-3} , respectivamente, y en la DO Valdeorras (276 mm en promedio) fueron de 3,78 kg m^{-3} y 1,07 kg m^{-3} respectivamente. En este estudio los PA_{uva} y PA_{poda} promedio entre tratamientos fueron de 0,62 kg m^{-3} y 0,13 kg m^{-3} , respectivamente. El valor de las plantas en secano se asemeja a los a los registrados por Cancela et al. (2016) en la DO Ría Baixas ya que ambas regiones presentan niveles elevados de precipitaciones durante el ciclo del cultivo, a diferencia de la que ocurre en la DO Valdeorras, dado que es una zona con menos precipitaciones. Los bajos valores de las plantas con riego reflejan principalmente los bajos niveles de rendimiento en el experimento y en la zona en general. Si bien Calamuchita es considerada una zona húmeda, las elevadas precipitaciones producidas durante el ciclo del cultivo permitieron un desarrollo vegetativo y reproductivo de las plantas en secano similar a las plantas con riego complementario. Existe aún un margen para mejorar esta relación, principalmente aumentando los rendimientos y manteniendo las plantas dentro del margen de equilibrio (como se vio previamente con el índice de Ravaz). Por lo tanto, los 3 índices de

productividad del agua calculados en este trabajo fueron inferiores a los obtenidos por Cancela et al. (2016) debido al bajo rendimiento del cultivo y del peso de la poda en relación con la cantidad de agua aportada por las lluvias y el riego.

Cabe destacar que en el trabajo de Cancela et al. (2016), en general ningún índice de productividad del agua manifestó diferencias significativas entre riego y secano, a diferencia de lo observado en este estudio. Por lo tanto, en base a estos resultados, el consumo del recurso hídrico y energético utilizados para la irrigación, no se compensa con una ganancia a nivel productivo del cultivo. Esto indica que, en el Valle de Calamuchita, a través de la viticultura en secano es posible alcanzar los mismos rendimientos del cultivo que con irrigación, pero logrando una mayor eficiencia en el uso del agua.

Por otro lado, en ambas temporadas el índice $PA_{UVA+PODA}$ fue similar al PA_{UVA} , ya que el peso de la poda no fue significativo en relación con la producción por planta (kg de uva por planta). Por lo tanto, a diferencia de lo observado en otras regiones vitivinícolas lluviosas, en el Valle de Calamuchita el $PA_{UVA+PODA}$ no es un indicador efectivo ya que, el consumo de agua por parte del cultivo no es reflejado en el desarrollo vegetativo de las plantas.

7 CONSIDERACIONES SOBRE LAS HIPÓTESIS

Hipótesis General

- Las condiciones agrometeorológicas en el Valle de Calamuchita (Córdoba) permiten el cultivo de la vid (cv. Malbec) sin riego suplementario, sin producir disminuciones en el rendimiento en el corto y mediano plazo y sin cambios en la composición fisicoquímica de la producción.

La hipótesis general de estudio fue aceptada, ya que las condiciones agrometeorológicas del Valle de Calamuchita permitieron que el cultivo de la vid (cv. Malbec) se desarrolle correctamente sin necesidad de aplicar riego suplementario. Bajo estas condiciones (secano), no hubo mermas en el rendimiento, incluso en 2019 la producción por planta fue mayor en comparación con la aplicación de un riego previo a brotación. Por otro lado, tampoco se observaron cambios significativos en la composición fisicoquímica de las

bayas en secano. Sin embargo, es necesario continuar con estos estudios para evaluar la sostenibilidad a largo plazo.

Hipótesis Específicas

- El cultivo en secano no genera una disminución de la conductancia estomática ni del crecimiento vegetativo respecto a plantas con riego suplementario.

Esta hipótesis es aceptada ya que a través de la conductancia estomática se determinó que las plantas cultivadas en secano no presentaron déficit hídrico en ningún momento del ciclo, y el crecimiento vegetativo fue igual que el de las plantas con riego.

- El cultivo en secano no genera una disminución de rendimientos respecto a plantas con riego durante el ciclo vegetativo debido a que no se afecta negativamente ningún componente del rendimiento.

Esta hipótesis es aceptada ya que los componentes del rendimiento no se vieron afectados por el secano. El desarrollo productivo del cultivo en secano fue igual que con riego durante todo el ciclo.

- El riego suplementario durante el ciclo vegetativo produce una disminución de la productividad del agua, ya que no se produce un aumento en el rendimiento en comparación con el secano.

Esta hipótesis es aceptada ya que las plantas con riego durante todo el ciclo presentaron el mismo desarrollo productivo que las plantas de secano, por lo que la productividad del agua fue menor con riego que en secano. Esto significa que con un menor consumo del recurso hídrico (secano), se logró la misma producción por planta que con la aplicación de riego.

- El manejo del cultivo en secano no produce cambios en la maduración ni en la composición polifenólica de las bayas en comparación con plantas con riego suplementario durante el ciclo vegetativo.

Esta hipótesis es aceptada, excepto por la concentración de algunos componentes polifenólicos. La maduración de las bayas no se vio afectada por el secano. Las bayas de ambos tratamientos fueron cosechadas en el mismo momento con igual peso de baya, °Brix, pH y acidez total. En cuanto al contenido polifenólico de las bayas, la concentración de antocianos no estuvo afectada por el secano, pero si la concentración de taninos y fenoles totales en los hollejos, que fue mayor en bayas de secano.

- El riego previo a la brotación genera un aumento en la producción de las plantas en comparación con el secano.

Esta hipótesis es rechazada ya que el riego previo a brotación no generó ningún efecto positivo sobre los componentes de rendimiento. De hecho, la producción por planta fue mayor en secano que con riego previo a brotación. Sin embargo, este resultado requiere más estudios para ser explicado.

8 CONCLUSIONES

A través de este estudio se logró determinar que el estado hídrico, el desarrollo vegetativo de las plantas, el rendimiento y la maduración de las bayas son iguales en secano que con riego. Sin embargo, existió una diferencia en la segunda temporada de estudio, donde la producción por planta fue significativamente superior en secano. Con respecto a la determinación polifenólica, las bayas de secano presentaron una mayor concentración de taninos y fenoles totales en hollejos, en comparación al tratamiento con riego, a pesar de presentar el mismo peso de hollejos en ambos tratamientos. Este resultado requiere ser profundizado, ya que ninguna otra variable medida (excepto la menor conductancia estomática registrada en una sola fecha previo a envero en secano) podría explicar esa diferencia. Sin embargo, el contenido de antocianos fue igual en secano y con riego. Finalmente, la productividad del agua fue significativamente superior en secano. Esto indica que el secano, combinado con la medición de indicadores fisiológicos del estado hídrico para determinar la necesidad de regar o no, es una estrategia importante para la preservación del recurso hídrico, ya que la aplicación de riego no impacta en la productividad del cultivo.

9 CONSIDERACIONES A FUTURO

A partir de los resultados alcanzados en este estudio, se plantean las siguientes sugerencias para investigaciones futuras:

- Continuar evaluando el impacto del secano durante más años para determinar la sostenibilidad de la práctica en los viñedos, abarcando de esta manera temporadas climáticamente diferentes.
- Complementar la medición del estado hídrico a través de la conductancia estomática con otros parámetros ampliamente utilizados como el potencial hídrico.
- Relacionar el estado hídrico de las plantas (conductancia estomática o potencial hídrico) con alguna variable simple de medir, como por ejemplo el contenido de humedad del suelo. De esta manera se podría conocer fácilmente el estado hídrico del cultivo sin necesidad de recurrir a equipamientos que no hay en la región (porómetro o cámara de Scholander).
- Realizar las determinaciones de componentes polifenólicos durante el proceso de maduración de las bayas para conocer su evolución y su relación con los °Brix. Con este resultado se podría decidir el momento oportuno de cosecha no sólo en base a la concentración de azúcar, sino también a la concentración de polifenoles.

10 BIBLIOGRAFÍA

- Adams, D.O., 2006. Phenolics and ripening in grape berries. *Am. J. Enol. Vitic.* 57, 249–256.
- Allen, R.G., Pereira, L.S., Raes, D., Smith, M., 1998. Crop evapotranspiration-Guidelines for computing crop water requirements-FAO Irrigation and drainage paper 56. Fao Rome 300, D05109.
- Barnavon, L., Doco, T., Terrier, N., Ageorges, A., Romieu, C., Pellerin, P., 2000. Analysis of cell wall neutral sugar composition, β -galactosidase activity and a related cDNA clone throughout the development of *Vitis vinifera* grape berries. *Plant Physiol. Biochem.* 38, 289–300.
- Becker, N., Zimmermann, H., 1984. [Influence of different amounts of water supplied to potted vines on branch maturation, fruit development and wine quality]. [French]. *Bull. OIV.*
- Brar, H.S., Singh, Z., Swinny, E., 2008. Dynamics of anthocyanin and flavonol profiles in the ‘Crimson Seedless’ grape berry skin during development and ripening. *Sci. Hortic.* 117, 349–356.

- Bravdo, B., Hepner, Y., Loinger, C., Cohen, S., Tabacman, H., 1985a. Effect of Irrigation and Crop Level on Growth, Yield and Wine Quality of Cabernet Sauvignon. *Am. J. Enol. Vitic.* 36, 132–139.
- Buckley, T.N., 2005. The control of stomata by water balance. *New Phytol.* 168, 275–292.
- Buttrose, M.S., Hale, C.R., Kliewer, W.M., 1971a. Effect of temperature on the composition of Cabernet Sauvignon berries. *Am. J. Enol. Vitic.* 22, 71–75.
- Çakir, B., Agasse, A., Gaillard, C., Saumonneau, A., Delrot, S., Atanassova, R., 2003. A grape ASR protein involved in sugar and abscisic acid signaling. *Plant Cell* 15, 2165–2180.
- Calò, A., Tomasi, D., Crespan, M., Costacurta, A., 1995. Relationship between environmental factors and the dynamics of growth and composition of the grapevine. *Strateg. Optim. Wine Grape Qual.* 427 217–232.
- Cancela, J.J., Fandiño, M., Rey, B.J., Martínez, E.M., 2015. Automatic irrigation system based on dual crop coefficient, soil and plant water status for *Vitis vinifera* (cv Godello and cv Mencía). *Agric. Water Manag., New proposals in the automation and remote control of water management in agriculture: agromotic systems* 151, 52–63.
- Cancela, J.J., Trigo-Córdoba, E., Martínez, E.M., Rey, B.J., Bouzas-Cid, Y., Fandiño, M., Mirás-Avalos, J.M., 2016. Effects of climate variability on irrigation scheduling in white varieties of *Vitis vinifera* (L.) of NW Spain. *Agric. Water Manag., Special Issue: Water Management Strategies in Irrigated Areas Overseen by: Dr. Brent Clothier* 170, 99–109.
- Carbonneau, A., 1998a. Irrigation, vignoble et produits de la vigne. *Traité D'irrigation Asp. Qual.* 257–276.
- Casassa, L.F., Keller, M., Harbertson, J.F., 2015. Regulated Deficit Irrigation Alters Anthocyanins, Tannins and Sensory Properties of Cabernet Sauvignon Grapes and Wines. *Molecules* 20, 7820–7844.
- Castellarin, S.D., Di Gaspero, G., 2007a. Transcriptional control of anthocyanin biosynthetic genes in extreme phenotypes for berry pigmentation of naturally occurring grapevines. *BMC Plant Biol.* 7, 46. <https://doi.org/10.1186/1471-2229-7-46>
- Chaves, M. m., Santos, T. p., Souza, C. r., Ortuño, M. f., Rodrigues, M. l., Lopes, C. m., Maroco, J. p., Pereira, J. s., 2007. Deficit irrigation in grapevine improves water-use efficiency while controlling vigour and production quality. *Ann. Appl. Biol.* 150, 237–252. <https://doi.org/10.1111/j.1744-7348.2006.00123.x>
- Chaves, M.M., Maroco, J.P., Pereira, J.S., 2003. Understanding plant responses to drought—from genes to the whole plant. *Funct. Plant Biol.* 30, 239–264.
- Chaves, M.M., Santos, T.P., Souza, C.R., Ortuño, M.F., Rodrigues, M.L., Lopes, C.M., Maroco, J.P., Pereira, J.S., 2007. Deficit irrigation in grapevine improves water-use efficiency while controlling vigour and production quality. *Ann. Appl. Biol.* 150, 237–252. <https://doi.org/10.1111/j.1744-7348.2006.00123.x>
- Cifre, J., Bota, J., Escalona, J.M., Medrano, H., Flexas, J., 2005. Physiological tools for irrigation scheduling in grapevine (*Vitis vinifera* L.): An open gate to improve water-use efficiency? *Photosynth. Abiotic Stress.* 106, 159–170. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2004.10.005>
- Clément, S., 2011. Efecto del riego deficitario y del raleo de racimos sobre la composición de la baya y otras variables fisiológicas en el cv. Malbec.
- Cohen, M., 1996. Funcionamiento hídrico y producción frutal del nogal en zonas semiáridas: aplicación al manejo del riego (PhD Thesis). Universitat de Lleida.

- Coombe, B.G., 1992. Research on Development and Ripening of the Grape Berry. *Am. J. Enol. Vitic.* 43, 101–110.
- Coombe, B.G., 1976. The Development of Fleshy Fruits. *Annu Rev Plant Physiol* 27, 207–228.
- Coombe, B.G., McCarthy, M.G., 2000. Dynamics of grape berry growth and physiology of ripening. *Aust. J. Grape Wine Res.* 6, 131–135.
- Cortell, J.M., Halbleib, M., Gallagher, A.V., Righetti, T.L., Kennedy, J.A., 2005. Influence of Vine Vigor on Grape (*Vitis vinifera* L. Cv. Pinot Noir) and Wine Proanthocyanidins. *J. Agric. Food Chem.* 53, 5798–5808. <https://doi.org/10.1021/jf0504770>
- Cortell, J.M., Kennedy, J.A., 2006. Effect of shading on accumulation of flavonoid compounds in (*Vitis vinifera* L.) pinot noir fruit and extraction in a model system. *J. Agric. Food Chem.* 54, 8510–8520.
- Creasy, G.L., Price, S.F., Lombard, P.B., 1993. Evidence for xylem discontinuity in Pinot noir and Merlot grapes: dye uptake and mineral composition during berry maturation. *Am. J. Enol. Vitic.* 44, 187–192.
- Cruz, R., Lago, A., Lage, A., Rial, M.E., Diaz-Fierros, F., Salsón, S., 2009a. Evolución reciente do clima de Galicia. Tendencias observadas en variables meteorolóxicas. *Evid. E Impactos Cambio Climático En Galicia* 19–58.
- Dayer, S., Prieto, J.A., Galat, E., Peña, J.P., 2016. Leaf carbohydrate metabolism in M albec grapevines: combined effects of regulated deficit irrigation and crop load. *Aust. J. Grape Wine Res.* 22, 115–123.
- Dayer, S., Prieto, J.A., Galat, E., Perez Peña, J., 2013. Carbohydrate reserve status of M albec grapevines after several years of regulated deficit irrigation and crop load regulation. *Aust. J. Grape Wine Res.* 19, 422–430.
- De Bei, R., Fuentes, S., Gilliam, M., Tyerman, S., Edwards, E., Bianchini, N., Smith, J., Collins, C., De Bei, R., Fuentes, S., Gilliam, M., Tyerman, S., Edwards, E., Bianchini, N., Smith, J., Collins, C., 2016. VitiCanopy: A Free Computer App to Estimate Canopy Vigor and Porosity for Grapevine. *Sensors* 16, 585.
- Deis, L., Cavagnaro, B., Bottini, R., Wuilloud, R., Fernanda Silva, M., 2011. Water deficit and exogenous ABA significantly affect grape and wine phenolic composition under in field and in-vitro conditions. *Plant Growth Regul.* 65, 11–21.
- Deluc, L.G., Grimplet, J., Wheatley, M.D., Tillett, R.L., Quilici, D.R., Osborne, C., Schooley, D.A., Schlauch, K.A., Cushman, J.C., Cramer, G.R., 2007. Transcriptomic and metabolite analyses of Cabernet Sauvignon grape berry development. *BMC Genomics* 8, 1–42.
- Dokoozlian, N.K., Kliewer, W.M., 1996. Influence of Light on Grape Berry Growth and Composition Varies during Fruit Development. *J. Am. Soc. Hortic. Sci.* 121, 869–874.
- dos Santos, T.P., Lopes, C.M., Rodrigues, M.L., de Souza, C.R., Ricardo-da-Silva, J.M., Maroco, J.P., Pereira, J.S., Chaves, M.M., 2007. Effects of deficit irrigation strategies on cluster microclimate for improving fruit composition of Moscatel field-grown grapevines. *Sci. Hortic.* 112, 321–330.
- Downey, M.O., Dokoozlian, N.K., Krstic, M.P., 2006a. Cultural practice and environmental impacts on the flavonoid composition of grapes and wine: a review of recent research. *Am. J. Enol. Vitic.* 57, 257–268.

- Downey, M.O., Harvey, J.S., Robinson, S.P., 2003. Analysis of tannins in seeds and skins of Shiraz grapes throughout berry development. *Aust. J. Grape Wine Res.* 9, 15–27. <https://doi.org/10.1111/j.1755-0238.2003.tb00228.x>
- Dry, P.R., Adelaide U., Loveys, B.R., McCarthy, M.G., Stoll, M., 2001. Strategic irrigation management on Australian vineyards, in: *Progrès Agricole et Viticole* (France).
- Dry, P.R., Loveys, B.R., 1998. Factors influencing grapevine vigour and the potential for control with partial rootzone drying. *Aust. J. Grape Wine Res.* 4, 140–148.
- Duchêne, E., Huard, F., Pieri, P., 2014. Grapevine and climate change: what adaptations of plant material and training systems should we anticipate. *J Int Sci Vigne Vin* 59–67.
- During, H., 1988. CO₂ assimilation and photorespiration of grapevine leaves: responses to light and drought. *Vitis* 27, 208.
- 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.
- Fanzone M., 2012. Caracterización de la composición fenólica de uvas y vinos de la variedad Malbec (*Vitis vinifera* L.): su relación con el origen geográfico, factores vitivinícolas y valor comercial (PhD Thesis). Universitat Rovira i Virgili.
- Fernandes de Oliveira, A., Mameli, M., De Pau, L., Satta, D., Nieddu, G., 2013. Deficit irrigation strategies in *Vitis vinifera* L. cv. Cannonau under Mediterranean climate. Part I-physiological responses, growth, yield and berry composition. *South Afr. J. Enol. Vitic.* 34, 170–183.
- Flexas, J., Bota, J., José, M., Escalona, Sampol, B., Medrano, H., 2002. Effects of drought on photosynthesis in grapevines under field conditions: an evaluation of stomatal and mesophyll limitations.
- Flexas, J., Bota, J., Loreto, F., Cornic, G., Sharkey, T.D., 2004. Diffusive and metabolic limitations to photosynthesis under drought and salinity in C3 plants. *Plant Biol.* 6, 269–279.
- Flexas, J., Escalona, J.M., Medrano, H., 1999. Water stress induces different levels of photosynthesis and electron transport rate regulation in grapevines. *Plant Cell Environ.* 22, 39–48.
- Fournand, D., Vicens, A., Sidhoum, L., Souquet, J.-M., Moutounet, M., Cheynier, V., 2006. Accumulation and extractability of grape skin tannins and anthocyanins at different advanced physiological stages. *J. Agric. Food Chem.* 54, 7331–7338.
- Fregoni, M., Gatti, M., 2007. Changements climatiques et désertification: la viticulture mondiale réagira en fonction des latitudes. *Congres sur le Climat et la Viticulture*. Zaragoza 10–14.
- Gamon, J.A., Pearcy, R.W., 1990. Photoinhibition in *Vitis californica*: interactive effects of sunlight, temperature and water status. *Plant Cell Environ.* 13, 267–275.
- Giovannoni, J., 2001. Molecular biology of fruit maturation and ripening. *Annu. Rev. Plant Biol.* 52, 725–749.
- Gorgas, J., 2006. Red de información agro económica de la región pampeana (RIAP). Córdoba (AR): INTA - Centro Regional Córdoba. Boletín informativo de la provincia de Córdoba. Año 1, n° 1, 21. p.
- Gouveia, J., Lopes, C.M., Pedroso, V., Martins, S., Rodrigues, P., Alves, I., 2012. Effect of irrigation on soil water depletion, vegetative growth, yield and berry composition of the grapevine variety Touriga Nacional. *Ciênc. E Téc. Vitivinic.* 27, 115–122.

- Hale, C.R., Coombe, B.G., Hawker, J.S., 1970. Effects of ethylene and 2-chloroethylphosphonic acid on the ripening of grapes. *Plant Physiol.* 45, 620–623.
- Harbertson, J.F., Kennedy, J.A., Adams, D.O., 2002a. Tannin in skins and seeds of Cabernet Sauvignon, Syrah, and Pinot noir berries during ripening. *Am. J. Enol. Vitic.* 53, 54–59.
- Harbertson, J.F., Mireles, M., Yu, Y., 2015a. Improvement of BSA tannin precipitation assay by reformulation of resuspension buffer. *Am. J. Enol. Vitic.* 66, 95–99.
- Harbertson, J.F., Picciotto, E.A., Adams, D.O., 2003a. Measurement of polymeric pigments in grape berry extract and wines using a protein precipitation assay combined with bisulfite bleaching. *Am. J. Enol. Vitic.* 54, 301–306.
- Haselgrove, L., Botting, D., van HEESWIJCK, R., Høj, P. b., Dry, P. r., Ford, C., Land, P. g. I., 2000. Canopy microclimate and berry composition: The effect of bunch exposure on the phenolic composition of *Vitis vinifera* L cv. Shiraz grape berries. *Aust. J. Grape Wine Res.* 6, 141–149.
- Hatfield, J.L., 1990. Methods of estimating evapotranspiration. *Agronomy* 435–474.
- Hepner, Y., Bravdo, B., Loinger, C., Cohen, S., Tabacman, H., 1985. Effect of Drip Irrigation Schedules on Growth, Yield, Must Composition and Wine Quality of Cabernet Sauvignon. *Am. J. Enol. Vitic.* 36, 77–85.
- Holt, H.E., Birchmore, W., Herderich, M.J., Iland, P.G., 2010. Berry Phenolics in Cabernet Sauvignon (*Vitis vinifera* L.) during Late-Stage Ripening. *Am. J. Enol. Vitic.* 61, 285–299.
- Hsiao, T.C., Xu, L.-K., 2000. Sensitivity of growth of roots versus leaves to water stress: biophysical analysis and relation to water transport. *J. Exp. Bot.* 51, 1595–1616. <https://doi.org/10.1093/jexbot/51.350.1595>
- Hugalde, I., Bonada, M., Vila, H., 2018. El fenómeno de la cavitación en vid. Descifrando los mecanismos implicados. *Rev. Fac. Cienc. Agrar. Univ. Nac. Cuyo* 50, 33–47.
- Hunter, J., Archer, E., 2002. Papel actual y perspectivas futuras de la gestión del follaje. *ACE Rev. Enol.* 2.
- Intrigliolo, D., Castel, J., 2009. Response of *Vitis vinifera* cv. ‘Tempranillo’ to partial rootzone drying in the field: Water relations, growth, yield and fruit and wine quality. *Agric. Water Manag.* 96, 282–292.
- 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., Pérez, D., Risco, D., Yeves, A., Castel, J.R., 2012. Yield components and grape composition responses to seasonal water deficits in Tempranillo grapevines. *Irrig. Sci.* 30, 339–349.
- Jackson, D.I., Lombard, P.B., 1993. Environmental and Management Practices Affecting Grape Composition and Wine Quality - A Review. *Am. J. Enol. Vitic.* 44, 409–430.
- Jones, H.G., 2004. Irrigation scheduling: advantages and pitfalls of plant-based methods. *J. Exp. Bot.* 55, 2427–2436.
- Jones, H.G., 1998. Stomatal control of photosynthesis and transpiration. *J. Exp. Bot.* 387–398.
- Junquera, P., Lissarrague, J.R., Jiménez, L., Linares, R., Baeza, P., 2012. Long-term effects of different irrigation strategies on yield components, vine vigour, and grape composition in cv. Cabernet-Sauvignon (*Vitis vinifera* L.). *Irrig. Sci.* 30, 351–361.

- Keller, M., Smith, J.P., Bondada, B.R., 2006. Ripening grape berries remain hydraulically connected to the shoot. *J. Exp. Bot.* 57, 2577–2587. <https://doi.org/10.1093/jxb/erl020>
- Kennedy, J.A., Hayasaka, Y., Vidal, S., Waters, E.J., Jones, G.P., 2001a. Composition of grape skin proanthocyanidins at different stages of berry development. *J. Agric. Food Chem.* 49, 5348–5355.
- Kennedy, J.A., Matthews, M.A., Waterhouse, A.L., 2002a. Effect of Maturity and Vine Water Status on Grape Skin and Wine Flavonoids. *Am J Enol Vitic* 53, 268–274.
- Kennedy, J.A., Matthews, M.A., Waterhouse, A.L., 2000. Changes in grape seed polyphenols during fruit ripening. *Phytochemistry* 55, 77–85.
- Kennedy, J.A., Saucier, C., Glories, Y., 2006a. Grape and wine phenolics: History and perspective. *Am. J. Enol. Vitic.* 57, 239–248.
- Kennedy, J.A., Troup, G.J., Pilbrow, J.R., Hutton, D.R., HEWITT, D., Hunter, C.R., RISTIC, R., Iland, P.G., JONES, G.P., 2000. Development of seed polyphenols in berries from *Vitis vinifera* L. cv. Shiraz. *Aust. J. Grape Wine Res.* 6, 244–254.
- Kliewer, W.M., 1973. Berry composition of *Vitis vinifera* cultivars as influenced by photo- and nycto-temperatures during maturation. *Amer Soc Hort Sci J.*
- Kliewer, W.M., 1971a. Effect of day temperature and light intensity on concentration of malic and tartaric acids in *Vitis vinifera* L. grapes. *Amer Soc Hort Sci J.*
- Koundouras, S., Kanakis, I., Drossou, E., Kallithraka, S., Kotseridis, Y., 2013. Effects of postveraison water regime on the phenolic composition of grapes and wines of cv. Agiorgitiko. *OENO One* 47, 115–128.
- Kyraleou, M., Kotseridis, Y., Koundouras, S., Chira, K., Teissedre, P.-L., Kallithraka, S., 2016. Effect of irrigation regime on perceived astringency and proanthocyanidin composition of skins and seeds of *Vitis vinifera* L. cv. Syrah grapes under semiarid conditions. *Food Chem.* 203, 292–300. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2016.02.052>
- Leeuwen, C. van, Trégoat, O., Choné, X., Bois, B., Pernet, D., Gaudillère, J.-P., 2009. Vine water status is a key factor in grape ripening and vintage quality for red Bordeaux wine. How can it be assessed for vineyard management purposes? *OENO One* 43, 121–134. <https://doi.org/10.20870/oeno-one.2009.43.3.798>
- Liu, W.T., Pool, R., Wenkert, W., Kriedemann, P.E., 1978. Changes in photosynthesis, stomatal resistance and abscisic acid of *Vitis labruscana* through drought and irrigation cycles. *Am. J. Enol. Vitic.* 29, 239–246.
- López, M.-I., Sánchez, M.-T., Díaz, A., Ramírez, P., Morales, J., 2007. Influence of a deficit irrigation regime during ripening on berry composition in grapevines (*Vitis vinifera* L.) grown in semi-arid areas. *Int. J. Food Sci. Nutr.* 58, 491–507.
- López, V., 2005. Respuestas fisiológicas en uva de mesa cultivar Crimson Seedless sometidas a déficit hídrico. *Mem. Ing. Agrónomo Univ. Chile Fac. Cienc. Agronómicas Santiago Chile.*
- Lovisoló, C., Hartung, W., Schubert, A., 2002. Whole-plant hydraulic conductance and root-to-shoot flow of abscisic acid are independently affected by water stress in grapevines. *Funct. Plant Biol.* 29, 1349–1356. <https://doi.org/10.1071/fp02079>
- Maroco, J.P., Rodrigues, M.L., Lopes, C., Chaves, M.M., 2002. Limitations to leaf photosynthesis in field-grown grapevine under drought—metabolic and modelling approaches. *Funct. Plant Biol.* 29, 451–459.

- Matocq, G.L., 2004. Evaluación de diferentes alternativas de control de rendimiento en *vitis vinífera* cv. Syrah.
- Matthews, M.A., Anderson, M.M., 1988. Fruit ripening in *Vitis vinifera* L.: responses to seasonal water deficits. *Am. J. Enol. Vitic.* 39, 313–320.
- Matthews, M.A., Anderson, M.M., SCHULT, H., 1987. Phenologic and growth responses to early and late season. *Vitis* 26, 147–160.
- 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. <https://doi.org/10.1002/jsfa.2740510305>
- 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, 2–8.
- Medrano, H., Escalona, J.M., Bota, J., Gulías, J., Flexas, J., 2002. Regulation of Photosynthesis of C3 Plants in Response to Progressive Drought: Stomatal Conductance as a Reference Parameter. *Ann. Bot.* 89, 895–905. <https://doi.org/10.1093/aob/mcf079>
- Medrano, H., Escalona, J.M., Cifre, J., Bota, J., Flexas, J., 2003. 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. *Funct. Plant Biol.*
- Medrano, H., Tomás, M., Martorell, S., Escalona, J.-M., Pou, A., Fuentes, S., Flexas, J., Bota, J., 2015. Improving water use efficiency of vineyards in semi-arid regions. A review. *Agron. Sustain. Dev.* 35, 499–517. <https://doi.org/10.1007/s13593-014-0280-z>
- Mirás-Avalos, J.M., Trigo-Córdoba, E., Bouzas-Cid, Y., Orriols-Fernández, I., 2016a. Irrigation effects on the performance of grapevine (*Vitis vinifera* L.) cv. 'Albariño' under the humid climate of Galicia. *OENO One* Vol 50 No 4 2016 *OENO One* - 1020870oeno-One201650463.
- Mirás-Avalos, J.M., Trigo-Córdoba, E., Bouzas-Cid, Y., Orriols-Fernández, I., 2016b. Irrigation effects on the performance of grapevine (*Vitis vinifera* L.) cv. 'Albariño' under the humid climate of Galicia. *OENO One* 50. <https://doi.org/10.20870/oeno-one.2016.50.4.63>
- Mirás-Avalos, J.M., Trigo-Córdoba, E., Bouzas-Cid, Y., Rego-Martínez, F., Díaz-Losada, E., 2012. Efectos del riego sobre tres variedades blancas autóctonas gallegas (Treixadura, Godello y Albariño) en la DO Ribeiro: primeros resultados. *Interempresas Ind. Vitivinícola* 12, 20–27.
- Morgani, M.B., Peña, J.E.P., Fanzone, M., Prieto, J.A., 2022. Pruning after budburst delays phenology and affects yield components, crop coefficient and total evapotranspiration in *Vitis vinífera* L. cv. 'Malbec' in Mendoza, Argentina. *Sci. Hort.* 296, 110886.
- Mori, K., Sugaya, S., Gemma, H., 2005. Decreased anthocyanin biosynthesis in grape berries grown under elevated night temperature condition. *Sci. Hort.* 105, 319–330.
- 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, 151–154.
- Naor, A., Bravdo, B., Gelobter, J., 1994a. Gas exchange and water relations in field-grown Sauvignon blanc grapevines. *Am. J. Enol. Vitic.* 45, 423–428.
- Naor, A., Wample, R.L., 1994. Gas exchange and water relations of field-grown Concord (*Vitis labruscana* Bailey) grapevines. *Am. J. Enol. Vitic.* 45, 333–337.
- Nunan, K.J., Sims, I.M., Bacic, A., Robinson, S.P., Fincher, G.B., 1998. Changes in cell wall composition during ripening of grape berries. *Plant Physiol.* 118, 783–792.

- Obreque-Slier, E., Peña-Neira, Á., López-Solís, R., Zamora-Marín, F., Ricardo-da Silva, J.M., Laureano, O., 2010a. Comparative study of the phenolic composition of seeds and skins from Carménère and Cabernet Sauvignon grape varieties (*Vitis vinifera* L.) during ripening. *J. Agric. Food Chem.* 58, 3591–3599.
- Ojeda, H., Andary, C., Kraeva, E., Carbonneau, A., Deloire, A., 2002a. 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.
- Ojeda, H., Deloire, A., Carbonneau, A., 2001. Influence of water deficits on grape berry growth. *VITIS-GEILWEILERHOF-* 40, 141–146.
- Okamoto, G., Kuwamura, T., Hirano, K., 2004. Effects of water deficit stress on leaf and berry ABA and berry ripening in Chardonnay grapevines (*Vitis vinifera*). *Vitis* 43, 15–17.
- Pellegrino, A., Lebol, E., Simmoneau, T., Wery, J., 2005. Towards a simple indicator of water stress in grapevine (*Vitis vinifera* L.) based on the differential sensitivities of vegetative growth components. *Aust. J. Grape Wine Res.* 11, 306–315.
- Peña-Neira, A., Duenas, M., Duarte, A., Hernandez, T., Estrella, I., Loyola, E., 2004. Effects of ripening stages and of plant vegetative vigor on the phenolic composition of grapes (*Vitis vinifera* L.) cv. Cabernet Sauvignon in the Maipo Valley (Chile). *Vitis* 43, 51–57.
- Pereira, L.S., Cordery, I., Iacovides, I., 2012. Improved indicators of water use performance and productivity for sustainable water conservation and saving. *Agric. Water Manag.* 108, 39–51.
- Peterlunger, E., Sivilotti, P., Bonetto, C., Paladin, M., 2002. Water stress induces changes in polyphenol concentration in Merlot grapes and wines [*Vitis vinifera* L.; grapevine; Friuli-Venezia Giulia]. *Riv. Vitic. E Enol. Italy.*
- Picón-Toro, J., González-Dugo, V., Uriarte, D., Mancha, L.A., Testi, L., 2012. Effects of canopy size and water stress over the crop coefficient of a “Tempranillo” vineyard in south-western Spain. *Irrig. Sci.* 30, 419–432.
- Pueyo, I.B., Pérez, D., de León, L.B.P., Molina, D.S.I., Sánchez, J.R.C., 2014. Respuesta agronómica de la variedad "Moscatel de Alejandría" al riego en clima mediterráneo, in: *I Jornada Del Grupo de Viticultura y Enología: Comunicaciones, Logroño, 19 y 20 de Noviembre, 2014. SECH (Sociedad Española de Ciencias Hortícolas)*, pp. 310–316.
- Quick, W.P., Chaves, M.M., Wendler, R., David, M., Rodrigues, M.L., Passaharinho, J.A., Pereira, J.S., Adcock, M.D., Leegood, R.C., Stitt, M., 1992. The effect of water stress on photosynthetic carbon metabolism in four species grown under field conditions. *Plant Cell Environ.* 15, 25–35.
- Raymond Eder, M.L., Reynoso, C., Lauret, S.C., Rosa, A.L., 2017. Isolation and Identification of the Indigenous Yeast Population during Spontaneous Fermentation of Isabella (*Vitis labrusca* L.) Grape Must. *Front. Microbiol.* 8.
- Reynolds, A.G., Lowrey, W.D., Savigny, C.D., 2005. Influence of Irrigation and Fertigation on Fruit Composition, Vine Performance, and Water Relations of Concord and Niagara Grapevines. *Am. J. Enol. Vitic.* 56, 110–128.
- 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, 217.

- Ristic, R., Iland, P.G., 2005. Relationships between seed and berry development of *Vitis vinifera* L. cv Shiraz: developmental changes in seed morphology and phenolic composition. *Aust. J. Grape Wine Res.* 11, 43–58.
- Rivarola, A., Vinocur, M., Seiler, R., n.d. Efectos del cambio climatico sobre areas vulnerables a la sequia en el sur de Cordoba.
- Riveros, R., 2002. Efectos del riego deficitario controlado sobre la producción y la calidad del fruto en uva de mesa (sultanina). *Trab. Grado Fac. Cienc. Agronómicas Univ. Chile Santiago.*
- Roby, G., Harbertson, J.F., Adams, D.A., Matthews, M.A., 2004a. Berry size and vine water deficits as factors in winegrape composition: Anthocyanins and tannins. *Aust. J. Grape Wine Res.* 10, 100–107. <https://doi.org/10.1111/j.1755-0238.2004.tb00012.x>
- Rodrigues, M.L., Chaves, M.M., Wendler, R., David, M.M., Quick, W.P., Leegood, R.C., Stitt, M., Pereira, J.S., 1993. Osmotic adjustment in water stressed grapevine leaves in relation to carbon assimilation. *Funct. Plant Biol.* 20, 309–321.
- Romeyer, F.M., Macheix, J.J., Goiffon, J.J., Reminiac, C.C., Sapis, J.C., 1983. Browning capacity of grapes. 3. Changes and importance of hydroxycinnamic acid-tartaric acid esters during development and maturation of the fruit. *J. Agric. Food Chem.* 31, 346–349.
- Ruffner, H.P., 1982. Metabolism of tartaric and malic acid in *Vitis*. *Vitis* 21, 247–259.
- Sánchez, C, Barberis, N.A, 2013. Caracterización del territorio Centro de la provincia de Córdoba. Manfredi Córdoba AR Ediciones INTA Estac. Exp. Agropecu. Manfredi 97.
- Sánchez-Díaz, M., Aguirreolea, J., 2000. Movimientos estomáticos y transpiración. *Azcon-Bieto J M Talon Fundam. Fisiol. Veg. 1ª Ed Ed McGraw-Hill Interamericana Esp. Madr.* 31–43.
- Schultz, H.R., 2003. Differences in hydraulic architecture account for near-isohydric and anisohydric behaviour of two field-grown *Vitis vinifera* L. cultivars during drought. *Plant Cell Environ.* 26, 1393–1405.
- Shiraishi, M., 1995. Proposed descriptors for organic acids to evaluate grape germplasm. *Euphytica* 81, 13–20.
- Simonneau, T., Ollat, N., Pellegrino, A., Lebon, E., 2015. Contrôle de l'état hydrique dans la plante et réponses physiologiques de la vigne à la contrainte hydrique. *Prog. Agric. Vitic.* 132, 07–21.
- Smart, R.E., 1974. Aspects of water relations of the grapevine (*Vitis vinifera*). *Am. J. Enol. Vitic.* 25, 84–91.
- Smart, R.E., Robinson, M.D. (Michael D.), 1991. Sun light into wine; A handbook for winegrape canopy management. Ed Winetitles 72 pp.
- Sofa, A., Nuzzo, V., Tataranni, G., Manfra, M., De Nisco, M., Scopa, A., 2012. Berry morphology and composition in irrigated and non-irrigated grapevine (*Vitis vinifera* L.). *J. Plant Physiol.* 169, 1023–1031. <https://doi.org/10.1016/j.jplph.2012.03.007>
- Souza, C.R. de, Maroco, J.P., Santos, T.P. dos, Rodrigues, M.L., Lopes, C.M., Pereira, J.S., Chaves, M.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. <https://doi.org/10.1071/fp02115>
- Spayd, S.E., Tarara, J.M., Mee, D.L., Ferguson, J.C., 2002a. Separation of sunlight and temperature effects on the composition of *Vitis vinifera* cv. Merlot berries. *Am. J. Enol. Vitic.* 53, 171–182.

- Speirs, J., Binney, A., Collins, M., Edwards, E., Loveys, B., 2013. Expression of ABA synthesis and metabolism genes under different irrigation strategies and atmospheric VPDs is associated with stomatal conductance in grapevine (*Vitis vinifera* L. cv Cabernet Sauvignon). *J. Exp. Bot.* 64, 1907–1916. <https://doi.org/10.1093/jxb/ert052>
- Stevens, R. m., Harvey, G., Aspinall, D., 1995. Grapevine growth of shoots and fruit linearly correlate with water stress indices based on root-weighted soil matric potential. *Aust. J. Grape Wine Res.* 1, 58–66. <https://doi.org/10.1111/j.1755-0238.1995.tb00079.x>
- Sweetman, C., Sadras, V.O., Hancock, R.D., Soole, K.L., Ford, C.M., 2014. Metabolic effects of elevated temperature on organic acid degradation in ripening *Vitis vinifera* fruit. *J. Exp. Bot.* 65, 5975–5988. <https://doi.org/10.1093/jxb/eru343>
- Teixeira, A.H. de C., Bastiaanssen, W.G.M., Bassoi, L.H., 2007. Crop water parameters of irrigated wine and table grapes to support water productivity analysis in the Sao Francisco river basin, Brazil. *Agric. Water Manag.* 94, 31–42. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2007.08.001>
- Togores, J.H., 2010. Tratado de enología. Mundi-Prensa Libros.
- Tomasi, D., Pitacco, A., Pascarella, G., 2003. Bunch and berry temperature and anthocyanin synthesis and profile in Cabernet Sauvignon [*Vitis vinifera* L.; grapevine; Veneto]. *Riv. Vitic. E Enol. Italy.*
- Tonietto, J., Carbonneau, A., 2004. A multicriteria climatic classification system for grape-growing regions worldwide. *Agric. For. Meteorol.* 124, 81–97.
- Trigo, E.J., Cid, Y.B., Fernández, I.O., Mirás-Avalos, J.M., 2014. Influencia del riego en la variedad Sousón, tinta autóctona de Galicia: Resultados experimentales 2012-2013, in: I Jornada del Grupo de Viticultura y Enología: Comunicaciones, Logroño, 19 y 20 de noviembre, 2014, 2014, ISBN 978-84-8125-675-8, págs. 325-330. SECH (Sociedad Española de Ciencias Hortícolas), pp. 325–330.
- Vallone, R., Peña, P.J., Nijensohn, L., Cavagnaro, J., 1997a. Efectos del estrés hídrico sobre el crecimiento vegetativo, reproductivo y calidad enológica en vid cv.
- Vallone, R., Peña, P.J., Nijensohn, L., Cavagnaro, J., 1997b. Efectos del estrés hídrico sobre el crecimiento vegetativo, reproductivo y calidad enológica en vid cv.
- Vila, H., Paladino, S., Nazralla, J., Lucero, C., 2010. Manual de calidad de uva: guía práctica para conocer y evaluar la calidad de uva para vino. Luján Cuyo Ediciones INTA 96.
- Vila, H.F., 2002. Efecto del tiempo de maceración sobre el color, la composición tánica y la astringencia de vinos Cabernet Sauvignon y Malbec (PhD Thesis). Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Nacional de Cuyo.
- Wample, R.L., Smithyman, R., 2002. Regulated deficit irrigation as a water management strategy in *Vitis vinifera* production. *Deficit Irrig. Pract.*
- Williams, L.E., Araujo, F.J., 2002. Correlations among predawn leaf, midday leaf, and midday stem water potential and their correlations with other measures of soil and plant water status in *Vitis vinifera*. *J. Am. Soc. Hortic. Sci.* 127, 448–454.
- 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. <https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2005.07.010>
- Williams, L.E., Phene, C.J., Grimes, D.W., Trout, T.J., 2003. Water use of mature Thompson Seedless grapevines in California. *Irrig. Sci.* 22, 11–18.

11 ANEXO

- Buffer A (solución de lavado): para 500 ml de buffer, agregar 200 ml de agua milliQ en un matraz y adicionar 6 ml de ácido acético glacial. Pesar 4,93 g de NaCl, disolver en un vaso con agua y trasvasar cuantitativamente al matraz enjuagando el vaso con agua. Luego pesar 2,95 g de perlas de NaOH (ajuste de pH a 4,9), disolver en un vaso con agua y trasvasar cuantitativamente al matraz enjuagando el vaso con agua. Enrasar a 500 ml con agua. Medir el pH colocando la solución en un erlenmeyer de 500 ml y si fuese necesario ajustar a 4,9 con NaOH 5N. Guardar en botella de vidrio color caramelo a 4°C.

- Buffer B (solución símil-vino): para 500 ml de buffer, agregar 200 ml de agua milliQ en un matraz y adicionar 60 ml de etanol p.a. Pesar 2,5 g de bitartrato de potasio, disolver en un vaso con agua agitando 5 min con buzo magnético y trasvasar cuantitativamente al matraz enjuagando el vaso con agua. Enrasar a 500 ml con agua. Colocar el contenido del matraz en un erlenmeyer de 500 ml y ajustar el pH a 3,3 con HCl 12N. Filtrar con papel y guardar en botella de vidrio color caramelo a temperatura ambiente.

- Buffer C (solución de resuspensión): para 500 ml de buffer, pesar 25 g de dodecil sulfato de sodio (SDS), colocar en un erlenmeyer de 500 ml, agregar 300 ml de agua y disolver agitando con buzo magnético. Adicionar 25 ml de trietanolamina (TEA) y 50 ml de agua. Medir el pH durante la agitación, una vez estabilizado el pH, ajustar a 9,4 con HCl 12N (2.5 ml). Trasvasar cuantitativamente al matraz enjuagando con agua. Enrasar a 500 ml con agua y guardar en botella de vidrio color caramelo a temperatura ambiente.

- Buffer D (solución para antocianinas): para 500 ml de buffer, pesar 4,93 g de NaCl y 11,6 g de ácido maleico, colocar en un erlenmeyer de 500 ml, agregar 300 ml de agua y disolver agitando con buzo magnético. Adicionar 1,9 g de perlas de NaOH (ajuste de pH a 1.8), disolver con agitación y trasvasar cuantitativamente al matraz enjuagando con agua. Enrasar a 500 ml con agua. Colocar el contenido del matraz en un erlenmeyer de 500 ml, controlar el pH y si fuese necesario ajustar a 1,8 con NaOH 5N. Guardar en botella de vidrio color caramelo a 4°C.

Reactivo de cloruro férrico: para 250 ml de solución, pesar 0,676 g de cloruro férrico hexahidratado, colocar en un erlenmeyer de 300 ml, agregar 100 ml de agua y disolver agitando con buzo magnético. Trasvasar cuantitativamente al matraz enjuagando con agua.

Adicionar 200 μ l de HCl 12 N y enrasar a 250 ml con agua. Guardar en botella de vidrio color caramelo a 4°C.

- Solución proteica: Solución madre (20 mg/ml): pesar 1 g de BSA, colocar en un vaso de 50 ml, adicionar 25 ml de Buffer A y agitar con buzo magnético hasta su completa disolución. Trasvasar al matraz de 50 ml y enrasar a volumen con Buffer A. Dividir la solución en tubos eppendorf de 1,5 ml y guardar a -80°C. Solución de trabajo (1 mg/ml): descongelar un tubo eppendorf, tomar 1 ml de la solución madre, colocar en matraz de 25 ml, adicionar 19 ml de Buffer A y homogeneizar. De esta forma tendremos una solución con una concentración de 1 mg/ml, para analizar 19 muestras. Preparar la cantidad necesaria según el número de muestras a analizar en un día de trabajo.
- Reactivo de decoloración: para 100 ml de solución, pesar 7,9 g de metabisulfito de potasio, colocar en un erlenmeyer, agregar 50 ml de agua y disolver. Trasvasar cuantitativamente al matraz y enrasar a 100 ml con agua. Utilizar en el día de trabajo.

PROCEDIMIENTO

Preparación de los extractos de hollejos o semillas: aplicar el procedimiento descrito en el protocolo denominado “EXTRACCIÓN DE FENOLES DE HOLLEJOS”. Diluir el extracto 1:3 con agua milliQ y ajustar el pH a 3,6.

Preparación de la muestra

- Para cada muestra problema, se utilizarán 1 tubo eppendorf para centrifuga de 1,5 ml.
- Centrifugar la muestra (vino, extracto de hollejo o semilla) a 3500 rpm durante 10 min.
- Realizar una dilución 1:5 de la muestra (vino, extracto de hollejo o semilla) empleando el Buffer B, por ejemplo: tomar 500 μ l de muestra y agregar 2000 μ l de buffer en un tubo plástico de 5 ml con tapa a presión y homogeneizar con vórtex. Evaluar según la muestra la dilución adecuada.

Medición fenoles vino

- Tomar 50 μ l de muestra (vino, extracto) sin diluir, colocar en cubeta y agregar 825 μ l de Buffer C, homogeneizar por inversión, mantener en reposo 10 min. y leer la A a 510 nm (A510 background fenoles), empleando como blanco (llevar a cero) 875 μ l de Buffer C.

- Agregar 125 ul de reactivo de cloruro férrico a la muestra y al blanco, homogeneizar por inversión, mantener en reposo 10 min. y leer la A a 510 nm (A510 final fenoles), empleando como blanco (llevar a cero) 875 ul de Buffer C + 125 ul de cloruro férrico.

Medición antocianinas totales

- Tomar 500 ul de muestra diluida, colocar en cubeta de 1,5 ml (1 cm paso óptico), agregar 1 mL de Buffer D y homogeneizar. Mantener en reposo en la oscuridad durante 5 min.
- Leer la A a 520 nm (Medición D), empleando como blanco (llevar a cero) 500 ul de Buffer B + 1000 ul de Buffer D.

Medición de pigmentos poliméricos y taninos

- Tomar 500 ul de muestra diluida, colocar en cubeta plástica de 1,5 ml (1 cm de paso óptico), agregar 1 mL de Buffer A y homogeneizar. Mantener en reposo en la oscuridad durante 10 min.
- Leer la A a 520 nm (Medición A), empleando como blanco (llevar a cero) 1,5 ml de Buffer A.
- Agregar 80 ul del reactivo de decoloración, homogeneizar por inversión, mantener en reposo 10 min. y leer la A a 520 nm (Medición B), empleando como blanco (llevar a cero) 1,5 ml de Buffer A + 80 ul de reactivo de decoloración.

Tubo eppendorf No1

- Tomar 500 ul de muestra diluida, colocar en el tubo, agregar 1 ml de solución proteica y homogeneizar. Mantener el tubo en reposo en la oscuridad durante 15 min.
- Centrifugar a 14000 rpm durante 5 min.
- Tomar 1 ml de sobrenadante sin mover el pellet, colocar en una cubeta y adicionar 80 ul de reactivo de decoloración, homogeneizar por inversión, mantener en reposo 10 min y leer la A a 520 nm (Medición C), empleando como blanco (llevar a cero) 1 ml de Buffer A + 80 ul de reactivo de decoloración.
- Eliminar el sobrenadante remanente del tubo 2, agregar por las paredes del tubo 250 ul de Buffer A para lavar el pellet, centrifugar (14000 rpm, 1 min.), eliminar el sobrenadante cuidando de no remover el pellet. Repetir este lavado 2 veces.

- Agregar sobre el pellet 875 ul de Buffer C y mantener el tubo en reposo en la oscuridad durante 10 min.
- Disolver completamente el pellet empleando el vórtex, colocar en cubeta, mantener en reposo 10 min. y leer la A a 510 nm (A510 background tanino), empleando como blanco (llevar a cero) 875 ul de Buffer C.
- Agregar 125 ul de reactivo de cloruro férrico a la muestra y al blanco, homogeneizar por inversión, mantener en reposo 10 min. y leer la A a 510 nm (A510 final tanino), empleando como blanco (llevar a cero) 875 ul de Buffer C + 125 ul de cloruro férrico.