



**UNIVERSIDAD DE MURCIA**

**ESCUELA INTERNACIONAL DE DOCTORADO**

**ESTUDIO DE TOLERANCIA A LA SEQUÍA DE  
NUEVAS VARIETADES DE UVA DE  
VINIFICACIÓN OBTENIDAS A PARTIR DE  
'MONASTRELL' EN LA REGIÓN DE MURCIA**

**Diego José Fernández López**

**2022**





**UNIVERSIDAD DE MURCIA**

**Departamento de Fisiología Vegetal**

**ESTUDIO DE TOLERANCIA A LA SEQUÍA DE  
NUEVAS VARIEDADES DE UVA DE  
VINIFICACIÓN OBTENIDAS A PARTIR DE  
'MONASTRELL' EN LA REGIÓN DE MURCIA**

**Diego José Fernández López**

**2022**





# ESTUDIO DE TOLERANCIA A LA SEQUÍA DE NUEVAS VARIETADES DE UVA DE VINIFICACIÓN OBTENIDAS A PARTIR DE 'MONASTRELL' EN LA REGIÓN DE MURCIA

**Diego José Fernández López**

**2022**

Directora

**Dra. Leonor Ruiz García**

Dpto. Biotecnología, Genómica  
y Mejora Vegetal





**CONFORMIDAD DE SOLICITUD DE AUTORIZACIÓN DE DEPÓSITO DE  
TESIS DOCTORAL POR EL/LA DIRECTOR/A DE LA TESIS**

D<sup>a</sup>. Leonor Ruiz García, Doctora de Universidad del Área de Mejora Genética Molecular del IMIDA en el Departamento de Biotecnología, Genómica y Mejora Vegetal del IMIDA, Autoriza:

La presentación de la Tesis Doctoral titulada “ESTUDIO DE TOLERANCIA A LA SEQUÍA DE NUEVAS VARIEDADES DE UVA DE VINIFICACIÓN OBTENIDAS A PARTIR DE ‘MONASTRELL’ EN LA REGIÓN DE MURCIA”, realizada por D. Diego José Fernández López, bajo mi inmediata supervisión, y que presenta para la obtención del grado de Doctor por la Universidad de Murcia.

En Murcia, a 20 de Julio de 2022

Fdo:

A handwritten signature in purple ink, appearing to read 'Leonor Ruiz'.







**CONFORMIDAD DE DEPÓSITO DE TESIS DOCTORAL POR LA  
COMISIÓN ACADÉMICA DEL PROGRAMA**

D<sup>a</sup>. María José Quiles Ródenas, Catedrática de Universidad del Área de Fisiología Vegetal y Presidenta de la Comisión Académica del Programa de Doctorado en Biología Vegetal,

**INFORMA:**

Que una vez evaluado, de conformidad con el procedimiento establecido en el artículo 21 del “Reglamento por el que se regulan las enseñanzas oficiales de doctorado de la Universidad Murcia” el expediente completo de la tesis doctoral titulada “ESTUDIO DE TOLERANCIA A LA SEQUÍA DE NUEVAS VARIETADES DE UVA DE VINIFICACIÓN OBTENIDAS A PARTIR DE ‘MONASTRELL’ EN LA REGIÓN DE MURCIA”, realizada por D. Diego José Fernández López, bajo la inmediata dirección y supervisión de D<sup>a</sup>. Leonor Ruiz García, esta Comisión Académica, en sesión celebrada en fecha 9/9/2022, ha dado su autorización para su presentación ante la Comisión General de Doctorado.

Murcia, a 9 de septiembre de 2022

Firmado por QUILES RÓDENAS, MARÍA JOSÉ el día  
09/09/2022 con un certificado emitido por FNMT



# Índice

<b>Índice</b> .....	<b>I</b>
<b>Agradecimientos</b> .....	<b>V</b>
<b>Abreviaturas y acrónimos</b> .....	<b>VII</b>
<b>Índice de Anexos</b> .....	<b>IX</b>
<b>Índice de Figuras</b> .....	<b>XI</b>
<b>Índice de Imágenes</b> .....	<b>XIII</b>
<b>Índice de Tablas</b> .....	<b>XV</b>
<b>Resumen</b> .....	<b>XVII</b>
<b>Summary</b> .....	<b>XXI</b>
<b>I. Introducción</b> .....	<b>1</b>
1. La vid .....	3
1.1. Botánica y morfología .....	3
1.2. Origen y distribución de la viticultura .....	5
1.3. Importancia del sector vitivinícola .....	7
1.4. D.O. en la Región de Murcia.....	8
1.5. Fenología de la vid en clima mediterráneo.....	10
1.5.1. Ciclo vegetativo .....	10
1.5.2. Ciclo reproductivo.....	13
1.6. Necesidades hídricas del viñedo en clima mediterráneo .....	16
1.7. Calidad de la uva y el vino .....	18
2. El impacto del cambio climático .....	20
2.1. Impacto del cambio climático en el mediterráneo .....	21
2.2. Efectos del cambio climático en la vid.....	23
2.3. Estrategias de adaptación frente al cambio climático .....	26
2.3.1. Técnicas de riego deficitario .....	27
2.3.2. Material vegetal tolerante a la sequía .....	30
2.3.3. Gestión sostenible del viñedo.....	31
3. Estrés hídrico en la vid .....	33
3.1. Efectos del estrés hídrico en la fenología de la vid .....	35

3.1.1. Brotación-Cuajado.....	36
3.1.2. Cuajado-Envero.....	36
3.1.3. Envero-Vendimia.....	37
3.1.4. Vendimia-Caída de hoja.....	37
3.2. Efectos del estrés hídrico en la fisiología de la vid.....	38
3.3. Efectos del estrés hídrico en el rendimiento de la vid.....	41
3.4. Efectos del estrés hídrico en la calidad de la uva.....	43
<b>II. Objetivos.....</b>	<b>45</b>
<b>III. Material y Métodos.....</b>	<b>49</b>
1. Localización y clima.....	51
2. Características edáficas.....	52
3. Material vegetal.....	53
4. Diseño experimental y Tratamientos de riego.....	54
5. Caracteres fenológicos y control de crecimiento y desarrollo de la plantación.....	57
5.1. Caracteres fenológicos.....	57
5.2. Crecimiento de brotes primarios.....	57
5.3. Área foliar total.....	57
5.4. Peso de madera de poda.....	58
6. Parámetros fisiológicos.....	59
6.1. Potencial hídrico de la planta.....	59
6.2. Intercambio gaseoso.....	59
7. Caracteres productivos, morfológicos y de calidad de la uva.....	61
7.1. Caracteres productivos.....	61
7.2. Caracterización morfológica de racimo y bayas.....	61
7.3. Calidad de la uva.....	62
8. Análisis estadístico.....	62
<b>IV. Resultados.....</b>	<b>63</b>
1. Preselección de genotipos. Campaña 2018.....	65
1.1. Parámetros climáticos.....	65
1.2. Estados fenológicos.....	65
1.3. Parámetros fisiológicos.....	67

---

1.3.1. Potencial hídrico .....	67
1.3.2. Intercambio gaseoso.....	70
1.5. Parámetros de producción .....	73
1.5.1. Peso medio del racimo.....	74
1.5.2. Número de racimos.....	74
1.5.3. Peso medio de la baya .....	74
1.5.4. Producción total.....	75
1.6. Calidad de la uva.....	75
1.6.1. Contenido en fenoles totales .....	75
1.6.2. Contenido de antocianos.....	76
1.6.3. Grado Baumé .....	77
1.6.4. pH.....	77
1.6.5. Acidez total .....	77
1.7. Preselección de genotipos de interés .....	78
2. Parámetros climáticos y estados fenológicos (2018-2021) .....	80
2.1. Parámetros climáticos.....	80
2.2. Características edáficas.....	83
2.3. Estados fenológicos.....	84
3. Parámetros fisiológicos (2018-2021).....	86
3.1. Potencial hídrico de la planta .....	86
3.1.1. Evolución del $\Psi_s$ .....	87
3.2. Intercambio gaseoso.....	92
3.2.1. Conductancia estomática (gs) .....	92
3.2.2. Tasa fotosintética neta ( $A_N$ ).....	95
3.3.3. Eficiencia intrínseca del uso del agua ( $A_N/g_s$ ) .....	99
3.3. Relación entre parámetros fisiológicos.....	103
4. Parámetros agronómicos y crecimiento vegetativo (2018-2021).....	104
4.1. Parámetros de producción .....	104
4.1.1. Producción total.....	105
4.1.2. Número de racimos.....	106
4.1.3. Peso medio del racimo.....	106

4.1.4. Peso medio de la baya .....	106
4.1.5. Porcentaje de hollejo .....	107
4.1.6. Porcentaje de semillas.....	107
4.2. Caracterización de racimos y bayas.....	109
4.2.1. Longitud del racimo.....	109
4.2.2. Anchura del racimo.....	109
4.2.3. Compacidad de racimo.....	111
4.2.4. Longitud de baya.....	111
4.2.5. Anchura de baya.....	111
4.2.6. Número de semillas .....	112
4.2.7. Peso medio de la semilla .....	112
5. Crecimiento vegetativo (2018-2021).....	114
5.1. Tamaño medio del tallo.....	114
5.2. Área foliar total.....	115
5.3. Peso de poda .....	116
5.4. Índice de Ravaz.....	116
6. Calidad de la uva (2018-2021).....	117
6.1. Contenido en fenoles totales.....	117
6.2. Antocianos.....	118
6.3. Grado Baumé .....	118
6.4. pH.....	119
6.5. Acidez total .....	119
6.6. Ácido tartárico .....	121
6.7. Ácido málico .....	121
6.8. Relación tartárico/málico.....	121
6.9. Índice de madurez.....	122
<b>V. Discusión .....</b>	<b>123</b>
<b>VI. Conclusiones .....</b>	<b>139</b>
<b>VII. Anexos.....</b>	<b>143</b>
<b>VIII. Bibliografía.....</b>	<b>163</b>

## Agradecimientos

Quiero expresar mi más sincero agradecimiento a todas las personas que, de una forma u otra, han colaborado y me han ayudado en el desarrollo de esta tesis doctoral, ya que sin ellas no habría sido posible.

En primer lugar, me gustaría agradecer a la directora y tutora de esta tesis, la Dra. Leonor Ruiz García, por aceptarme para la realización de este proyecto bajo su dirección. El apoyo, confianza, paciencia e interés que siempre ha mostrado, ha sido fundamental en el desarrollo de esta tesis.

A todos los integrantes del equipo de Mejora Genética Molecular del Instituto Murciano de Investigación y Desarrollo Agrario y Medioambiental (IMIDA). Especialmente, a las chicas del laboratorio, Ana y Celia, que me han hecho sentir como en casa desde el primer día que llegué y han demostrado ser las compañeras de trabajo que cualquier persona desearía tener. Y también a José, el encargado de la finca, por haber estado siempre disponible para echar una mano con la programación de los tratamientos de riego, el mantenimiento de la parcela y por su predisposición en todo momento.

Agradecer, a José Ignacio, enólogo de la estación enológica de Jumilla, por haber estado siempre disponible para aclarar mis dudas y por todo lo aprendido con él. También quiero agradecer al Dr. Pascual Romero Azorín perteneciente al equipo de Riegos y Fisiología del Estrés, por haberme ayudado con la planificación del riego y por tener siempre un rato disponible para hablar conmigo.

A Nuria, por estar a mi lado incluso en los peores momentos, siempre ayudándome y animándome. Sin su apoyo incondicional durante todos estos años no hubiera podido haber culminado esta tesis con éxito.

A toda mi familia, y en especial a mis padres y hermana, que me han dado la oportunidad de estudiar; sin su ayuda no hubiera sido posible el haber llegado hasta aquí.

Para finalizar, me gustaría agradecer a todos mis amigos Álvaro, Juani, Carmen, Ginés, Dani, Fran, etc., por su paciencia y ayuda en todo momento, y simplemente por haber estado siempre apoyándome y animándome.

A todos ellos, muchas gracias.





## Abreviaturas y acrónimos

A	Año
ABA	Ácido abscísico
abr.	Abril
ago.	Agosto
A <sub>N</sub>	Tasa fotosintética neta
ANOVA	Análisis de la varianza
A <sub>N</sub> /g <sub>s</sub>	Eficiencia intrínseca del uso del agua
AT	Acidez total
CFT	Contenido de fenoles totales
DANA	Depresión aislada en niveles altos
dic.	Diciembre
D.O.	Denominación de Origen
DPV	Déficit de presión de vapor
ET <sub>0</sub>	Evapotranspiración de referencia
ET <sub>c</sub>	Evapotranspiración del cultivo
EUA	Eficiencia del uso del agua
FAO	Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura
G	Genotipo
g <sub>s</sub>	Conductancia estomática
IM	Índice de madurez
jun.	Junio
jul.	Julio
K <sub>c</sub>	Coefficientes de cultivo
nov.	Noviembre
Mal	Ácido málico
may.	Mayo
MAPAMA	Ministerio de Agricultura Pesca y Alimentación
Máx.	Máximo
Mín.	Mínimo
oct.	Octubre
OIV	Organización Internacional de la Viña y el Vino

ORCC	Observatorio Regional del Cambio Climático
P	Peso en g de la muestra de suelo
P'	Peso en g de la muestra de suelo seco
pb	Pares de bases
PRD	Riego por secado parcial de la zona radicular
PREC	Precipitaciones
R	Riego
r <sup>2</sup>	Coefficiente de correlación
RAD <sub>ACU</sub>	Radiación acumulada
RAD <sub>MAX</sub>	Radiación máxima
RAD <sub>MED</sub>	Radiación media
RD	Riego deficitario
RDC	Riego deficitario controlado
RDS	Riego deficitario sostenido
sep.	Septiembre
S <sub>ψ</sub>	Integral de estrés hídrico
SSR	Simple Sequence Repeats
Tar	Ácido tartárico
Tar/Mal	Relación ácido tartárico ácido málico
T <sub>MAX</sub>	Temperatura media diaria del aire máxima
T <sub>MED</sub>	Temperatura media diaria del aire
T <sub>MIN</sub>	Temperatura media diaria del aire mínima
v.c.p.r.d.	Vino de calidad producido en una región determinada
δ <sup>13</sup> C	Discriminación isotópica del carbono
Ψ <sub>aa</sub>	Potencial hídrico antes del amanecer
Ψ <sub>f</sub>	Potencial hídrico foliar
Ψ <sub>G</sub>	Potencial gravitacional
Ψ <sub>M</sub>	Potencial de matriz
Ψ <sub>P</sub>	Potencial de turgencia
Ψ <sub>S</sub>	Potencial hídrico del tallo
Ψ <sub>π</sub>	Potencial osmótico

## Índice de Anexos

Anexo 1. Cálculo del balance hídrico teórico de la plantación durante las campañas 2018-2021. ....	145
Anexo 2. Abonado de la plantación durante las campañas 2018-2021.....	146
Anexo 3. Medidas quincenales de potencial hídrico y parámetros del intercambio gaseoso en 2018.....	147
Anexo 4. Datos fenológicos medios (2018-2021) de seis genotipos cultivados bajo riego deficitario controlado (RDC) y secano. ....	149
Anexo 5. Medidas quincenales de potencial hídrico y parámetros del intercambio gaseoso en 2019.....	150
Anexo 6. Medidas quincenales de potencial hídrico y parámetros del intercambio gaseoso en 2020.....	152
Anexo 7. Medidas quincenales de potencial hídrico y parámetros del intercambio gaseoso en 2021.....	154
Anexo 8. Valores medios de los parámetros productivos durante las campañas 2018-2021.....	156
Anexo 9. Valores medios de caracterización del racimo y baya durante las campañas 2018-2021. ....	157
Anexo 10. Valores medios del crecimiento vegetativo durante las campañas 2018-2021. ....	158
Anexo 11. Matriz de correlación de Spearman de la integral de estrés con parámetros productivos y de calidad de la uva.....	159
Anexo 12. Valores medios de los parámetros de calidad de las uvas durante las campañas 2018-2021.....	160
Anexo 13. Grupos de calidad fenólica de uva basados en los datos medios de seis años (2012-2017).....	161



## Índice de Figuras

Figura 1. Evolución del potencial hídrico en 2018 basado en el valor medio de 11 genotipos. ....	68
Figura 2. Valores de la integral de estrés hídrico anual ( $S_{\psi}$ ) para cada genotipo y tratamiento de riego en 2018.....	70
Figura 3. Valores mensuales acumulativos de la evapotranspiración de referencia ( $ET_0$ ) y precipitaciones (PREC) registradas durante los años 2018, 2019, 2020 y 2021. ....	80
Figura 4. Evolución del potencial hídrico del tallo ( $\Psi_s$ ) para cada genotipo y tratamiento de riego.....	88
Figura 5. Valores medios de la integral de estrés hídrico anual ( $S_{\psi}$ ) para cada genotipo y tratamiento de riego.....	91
Figura 6. Evolución media de la conductancia estomática ( $g_s$ ) para cada genotipo y tratamiento de riego.....	93
Figura 7. Evolución media de la tasa fotosintética neta ( $A_N$ ) para cada genotipo y tratamiento de riego.....	96
Figura 8. Evolución media de la eficiencia intrínseca del uso del agua ( $A_N/g_s$ ) para cada genotipo y tratamiento de riego.....	100
Figura 9. Relación entre los parámetros fisiológicos evaluados ( $\Psi_s$ , $g_s$ , $A_N$ y $A_N/g_s$ ) para cada tratamiento de riego durante el periodo 2018-2021.....	103



## Índice de Imágenes

Imagen 1. Morfología del racimo y flor de <i>Vitis vinifera</i> . .....	5
Imagen 2. Ciclo vegetativo y principales estados fenológicos de la vid.....	10
Imagen 3. Diagrama del tamaño relativo y el color de las bayas a intervalos de 10 días desde la floración hasta la maduración.....	15
Imagen 4. Finca experimental “Hacienda Nueva” del Instituto Murciano de Investigación y Desarrollo Agrario y Medioambiental (IMIDA). .....	51
Imagen 5. Diseño experimental inicial de la parcela de estudio. ....	55





# Índice de Tablas

Tabla 1. Valores medios de las variables meteorológicas registradas mensualmente en el periodo 2001-2021.....	52
Tabla 2. Genotipo obtenido con el análisis de 8 marcadores moleculares tipo SSR. ....	54
Tabla 3. Cantidad total de agua (mm) aportada anualmente en riego deficitario controlado (RDC) y secano desde brotación hasta poscosecha. ....	56
Tabla 4. Ecuaciones de regresión obtenidas para determinar el área foliar en función de la longitud del tallo principal. ....	58
Tabla 5. Niveles de estrés hídrico en función de los valores de conductancia estomática ( $g_s$ ) y tasa fotosintética ( $A_N$ ). ....	60
Tabla 6. Niveles de eficiencia intrínseca del uso del agua ( $A_N/g_s$ ) en riego deficitario controlado (RDC) y secano. ....	60
Tabla 7. Variables meteorológicas registradas en 2018 durante diferentes estados fenológicos.....	65
Tabla 8. Etapas fenológicas de 11 genotipos cultivados bajo riego deficitario controlado (RDC) y secano en 2018. ....	66
Tabla 9. Potencial hídrico y parámetros del intercambio gaseoso registrados en 2018. ....	69
Tabla 10. Peso medio del racimo (g), número de racimos, peso medio de la baya (g) y producción total ( $Kg\ vid^{-1}$ ) en 2018.....	73
Tabla 11. Contenido de fenoles totales en piel y pepita (CFT piel-pepita), antocianos, °Baumé, pH y acidez total (AT) en 2018. ....	76
Tabla 12. Variables meteorológicas registradas durante diferentes estados fenológicos en los años 2018, 2019, 2020 y 2021. ....	82
Tabla 13. Análisis químico de suelo de la parcela experimental. ....	83
Tabla 14. Datos fenológicos medios bajo riego deficitario controlado (RDC) y secano. ....	85
Tabla 15. Datos medios del potencial hídrico del tallo ( $\Psi_s$ ) durante distintos periodos fenológicos.....	89
Tabla 16. Datos medios de la conductancia estomática ( $g_s$ ) durante distintos periodos fenológicos.....	94
Tabla 17. Datos medios de la tasa fotosintética ( $A_N$ ) durante distintos periodos fenológicos.....	97
Tabla 18. Datos medios de la eficiencia intrínseca del uso del agua ( $A_N/g_s$ ) durante distintos periodos fenológicos.....	101

Tabla 19. Valores medios de parámetros productivos bajo riego deficitario controlado (RDC) y seco. ....	108
Tabla 20. Valores medios de parámetros morfológicos del racimo bajo riego deficitario controlado (RDC) y seco. ....	110
Tabla 21. Valores medios de parámetros morfológicos de la baya bajo riego deficitario controlado (RDC) y seco. ....	113
Tabla 22. Valores medios de parámetros de crecimiento vegetativo bajo riego deficitario controlado (RDC) y seco. ....	115
Tabla 23. Valores medios de parámetros de calidad de la uva bajo riego deficitario controlado (RDC) y seco. ....	120

# Resumen



Uno de los estreses abióticos más severos que se espera en la cuenca mediterránea, a consecuencia del cambio climático, es el incremento de la sequía, que irá acompañada de una reducción de los recursos hídricos renovables, especialmente en la Región de Murcia. Esta situación tendrá consecuencias para el desarrollo de la vid, con el adelanto de los diferentes estados fenológicos, y cambios a nivel fisiológico que afectarán a la calidad de la uva y del vino, por lo que es necesario que el sector vitivinícola tome medidas de adaptación. Una de estas medidas, a corto plazo, es el empleo de técnicas de riego deficitario controlado. Sin embargo, esta medida no ha sido suficiente en algunas regiones vitícolas mediterráneas, en las que se ha observado en los últimos años una reducción del rendimiento y de la calidad de la uva, incluso con la aplicación de riegos controlados. Además, no siempre será posible la aplicación de riegos controlados debido a una escasez hídrica cada vez mayor. Por ello, es necesario adoptar otras medidas que permitan mantener la sostenibilidad de la viticultura en estas regiones. Una de estas medidas, a medio y largo plazo, es el desarrollo y selección de nuevas variedades de vid que se adapten mejor a las condiciones edafoclimáticas específicas de la zona vitivinícola, manteniendo buenas propiedades agronómicas, de calidad de la uva y enológicas. En este sentido, el Instituto Murciano de Investigación y Desarrollo Agrario y Medioambiental (IMIDA) inició a finales de los 1990s un programa de mejora de uva de vinificación, para la obtención de nuevas variedades que presentaran mejor calidad fenólica en zonas vitivinícolas semiáridas.

En esta tesis se evalúa el comportamiento de seis nuevos genotipos, obtenidos dentro del programa de mejora del IMIDA a partir de cruzamientos dirigidos de 'Monastrell' × 'Cabernet Sauvignon' (MC16, MC19, MC72 y MC80) y de 'Monastrell' × 'Syrah' (MS49 y MS104), bajo dos condiciones de cultivo: (1) con la aplicación de un riego deficitario controlado (RDC) que aporta el 25-30% de la evapotranspiración de cultivo (ETc); (2) bajo cultivo en secano. Para ello se han tomado datos agronómicos, fisiológicos, productivos y de calidad de uva, durante cuatro años (2018-2021), y se ha analizado el efecto del genotipo, el año, y el tratamiento de riego en dichos parámetros. El objetivo final de este trabajo es la identificación y selección de nuevos genotipos más tolerantes a la escasez de agua y a las altas temperaturas en zonas semiáridas, como medida de adaptación a la sequía, uno de los efectos adversos del cambio climático.

Los resultados presentados en este trabajo muestran la variabilidad fenotípica encontrada para la mayoría de los parámetros evaluados; dicha variabilidad fue estadísticamente significativa a nivel de genotipo, tratamiento de riego y año de estudio. No obstante, a pesar de la variabilidad interanual observada, el comportamiento de los genotipos se mantuvo en general en los diferentes años de estudio.

Algunas de las variables medidas en este trabajo, como las fenológicas, el índice de Ravaz y algunas relacionadas con la calidad de la uva (como °Baumé, pH, acidez total,

ácido tartárico e índice de madurez) no se vieron afectadas significativamente por el tratamiento de riego. En cambio, todas las variables productivas, fisiológicas y de crecimiento vegetativo disminuyeron significativamente en secano, respecto de RDC, mientras que incrementó significativamente el contenido fenólico, el aporte del peso del hollejo y semillas al peso de la baya y la relación Tartárico/Málico.

Partimos de la premisa de que los genotipos que mejor se comporten en condiciones de secano, serán los que mejor puedan adaptarse a los efectos del cambio climático en zonas semiáridas. Los resultados obtenidos en secano, nos han permitido identificar a dos genotipos como mejores candidatos para dicha adaptación: MC80 de maduración tardía y MS104 de maduración temprana. Por un lado, estos genotipos no superaron el umbral de potencial hídrico inferior a  $-1,60$  MPa y fueron los que menos estrés hídrico acumularon, estimado con la integral de estrés hídrico ( $S_{\psi}$ ). Como consecuencia, ambos genotipos presentaron en el periodo de máximo estrés hídrico (envero-vendimia) valores de conductancia estomática (entre  $0,062 - 0,067$  mol  $H_2O$   $m^{-2} s^{-1}$ ), tasa fotosintética (entre  $6,9 - 7,6$   $\mu$ mol  $CO_2$   $m^{-2} s^{-1}$ ) y eficiencia intrínseca del uso del agua (entre  $112 - 127$   $\mu$ mol  $CO_2$  mol  $H_2O^{-1}$ ) buenos.

En cuanto a las variables productivas y de calidad de la uva en secano, MC80 se clasificó en el mejor "grupo de calidad fenólica", con un contenido medio de fenoles totales (CFT) en piel y pepita de  $3884$  mg Kg uva<sup>-1</sup> y de antocianos de  $2999$  mg Kg uva<sup>-1</sup>, a la vez que mantuvo valores muy adecuados de producción ( $1,39$  Kg vid<sup>-1</sup>), pH ( $3,83$ ) y acidez total ( $4,21$  g/L tartárico). Respecto a MS104, presentó el rendimiento más elevado ( $1,51$  Kg vid<sup>-1</sup>), y mantuvo valores de CFT ( $2688$  mg Kg uva<sup>-1</sup>), antocianos ( $2355$  mg Kg uva<sup>-1</sup>), pH ( $3,86$ ) y acidez total ( $4,05$  g/L tartárico) muy adecuados. Además, MS104 maduró y se vendimió con un contenido de azúcar muy bajo ( $10,5$  °Baumé), lo que lo hace muy interesante y adecuado para la elaboración de vinos de bajo contenido alcohólico en zonas cálidas.

En definitiva, ante el nuevo escenario de cambio climático previsto, la selección de este nuevo material es muy interesante para su cultivo en condiciones de secano en regiones semiáridas, dando así una respuesta a viticultores y enólogos que demandan variedades tolerantes a la sequía. Estas nuevas variedades permitirán el desarrollo de una viticultura sostenible, de calidad y competitiva, condicionada por el tipo de vino a producir y las condiciones edafoclimáticas de la zona de cultivo. Disponer de este material supondrá un gran apoyo para el sector vitivinícola, especialmente en la Región de Murcia, al contar con un material único e innovador, que mantendrá a su vez la tipicidad de los vinos de la zona puesto que las variedades se han obtenido a partir de 'Monastrell'.

# Summary





One of the most severe abiotic stresses expected in the Mediterranean basin, as a result of climate change, is an increase in the occurrence of drought, which will be accompanied by a reduction in renewable water resources, especially in the Region of Murcia. This situation will have consequences for the development of grapevine plants, with the advancement of the different phenological stages and changes at a physiological level that will affect the quality of the grapes and the wine; hence, it is necessary for the wine sector to implement adaptation measures. One of the short-term measures is the use of controlled deficit irrigation techniques. However, this measure has not been enough in some Mediterranean wine-growing regions, where a reduction in grape yield and quality has been observed in recent years, even with the application of controlled irrigation. In addition, the application of controlled irrigation will not always be possible due to increasing water scarcity. Therefore, it is necessary to adopt other measures to maintain the sustainability of viticulture in these regions. One of these measures, in the medium and long term, is the development and selection of new vine varieties that are better adapted to the specific edaphoclimatic conditions of the wine-growing area, while maintaining good agronomic, grape quality, and oenological properties. In this sense, the Instituto Murciano de Investigación y Desarrollo Agrario y Medioambiental (IMIDA) began a wine grape improvement program at the end of the 1990s, to obtain new varieties that exhibit better phenolic quality in semi-arid wine-growing areas.

In this thesis, the behavior of six new genotypes, obtained within the IMIDA breeding program from directed crosses of 'Monastrell' × 'Cabernet Sauvignon' (MC16, MC19, MC72, and MC80) and 'Monastrell' × 'Syrah' (MS49 and MS104), has been followed under two different types of growing conditions: (1) with the application of a controlled deficit irrigation (RDC) that contributes 25-30% of the crop evapotranspiration (ET<sub>c</sub>); (2) with rain-fed (non-irrigated) cultivation. For this, agronomic, physiological, productive, and grape quality data were taken for four years (2018-2021), and the effects of the genotype, the year, and the irrigation treatment on these parameters were analyzed. The final objective of this work is the identification and selection of new genotypes more tolerant of water scarcity and high temperatures in semi-arid zones, as a measure of adaptation to drought, one of the adverse effects of climate change.

The results presented in this work show that there was phenotypic variability for most of the parameters evaluated; this variability was statistically significant at the level of the genotype, irrigation treatment, and year of study. However, despite the inter-annual variability observed, the behavior of the genotypes was generally maintained in the different years of study.

Some of the variables measured in this work - such as the phenological ones, the Ravaz index, and some related to the quality of the grape (such as °Baumé, pH, total acidity, tartaric acid, and the maturity index) - were not significantly affected by the irrigation

treatment. On the other hand, the values of all the productive, physiological, and vegetative growth variables decreased significantly in dry conditions, compared to RDC, while the phenolic content, the contribution of the weight of the skin and seeds to the weight of the berry, and the tartaric/malic ratio increased significantly.

The premise of this work is that the genotypes that behave best in dry conditions will be the ones that can best adapt to the effects of climate change in semi-arid areas. The results obtained in rain-fed conditions allowed the identification of two genotypes as the best candidates for this adaptation: the late-maturing MC80 and the early-maturing MS104. In these genotypes the water potential was never more negative than the threshold of -1.60 MPa and they were the ones with less accumulated water stress, estimated as the water stress integral ( $S_{\psi}$ ). As a consequence, during the period of maximum water stress (veraison-harvest), both genotypes presented good values of stomatal conductance ( $0.062 - 0.067 \text{ mol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ ), photosynthetic rate ( $6.9 - 7.6 \text{ } \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ ), and intrinsic water use efficiency ( $112 - 127 \text{ } \mu\text{mol CO}_2 \text{ mol H}_2\text{O}^{-1}$ ).

Regarding the productive and quality variables of the grapes obtained from rain-fed vines, MC80 was classified in the best "phenolic quality group", with an average content of total phenols (CFT) in skin and seed of  $3884 \text{ mg Kg grape}^{-1}$  and of anthocyanins of  $2999 \text{ mg Kg grape}^{-1}$ , while maintaining very adequate values of yield ( $1.39 \text{ Kg vine}^{-1}$ ), pH (3.83), and total acidity ( $4.21 \text{ g/L tartaric acid}$ ). Regarding MS104, it had the highest yield ( $1.51 \text{ Kg vine}^{-1}$ ), and maintained very adequate values of CFT ( $2688 \text{ mg Kg grape}^{-1}$ ), anthocyanins ( $2355 \text{ mg Kg grape}^{-1}$ ), pH (3.86), and total acidity ( $4.05 \text{ g/L tartaric acid}$ ). In addition, MS104 matured and was harvested with a very low sugar content ( $10.5 \text{ } ^\circ\text{Baumé}$ ), which makes it very interesting and suitable for the production of low-alcohol-content wines in hot areas.

In short, given the current climate change scenario, the selection of this new material is very interesting for its cultivation in rain-fed conditions in semi-arid regions, thus providing a response to viticulturists and oenologists who demand drought-tolerant varieties. These new varieties will allow the development of sustainable, quality, and competitive viticulture, conditioned by the type of wine to be produced and the soil and climate conditions of the growing area. This unique and innovative material will be of great support to the wine sector, especially in the Region of Murcia, and it will maintain the typicity of the wines in the area, since the new varieties have been obtained from 'Monastrell'.

# I. Introducción



# 1. La vid

## 1.1. Botánica y morfología

Las vides empleadas para el cultivo de uva de vinificación (*Vitis vinifera ssp. sativa*) proceden de la domesticación de poblaciones silvestres (*Vitis vinifera ssp. sylvestris*) originarias de una zona que abarca Asia central y la región mediterránea. La vid pertenece al orden Vitales (anteriormente orden Rhamnales) y se clasifica dentro de la familia Vitaceae. Esta familia está compuesta aproximadamente por 850 especies distintas asignadas a 14 géneros, típicamente arbustos o lianas leñosas. Solo dos subgéneros presentan un interés agrícola real (Reisch et al., 2012), *Euvinifera* ( $2n = 38$  cromosomas) y *Muscadinia* ( $2n = 40$  cromosomas), siendo el más importante de ellos el primero. *Euvinifera* comprende entre 60 y 70 especies diferentes distribuidas principalmente en Asia y América del Norte (Keller, 2020). A su vez, este subgénero se divide en dos grupos principales: el grupo estadounidense y el grupo euroasiático. Las especies dominantes de ambos grupos difieren mucho en las características agronómicas que presentan (fertilidad, calidad de la uva, tolerancia a enfermedades), por lo que han sido de interés como parentales en programas de mejora. Entre las especies pertenecientes al grupo americano se encuentran: *V. aestivalis*, *V. berlandieri*, *V. candicans*, *V. cinerea*, *V. labrusca*, *V. riparia* y *V. rupestris*. Estas especies se caracterizan por presentar una baja fertilidad y una calidad de la uva pobre, pero, debido a su resistencia a enfermedades y plagas asociadas a la vid en América del Norte, los miembros de este grupo están siendo actualmente utilizados como portainjertos o como parentales en cruzamientos llevados a cabo en los programas de mejora genética de vid (Alleweldt y Possingham, 1988; This et al., 2006). Dentro del grupo euroasiático se encuentran las especies: *V. amurensis*, *V. coignetiae*, *V. davidii*, *V. romanetii*, *V. vinifera ssp. sativa*, *V. vinifera ssp. sylvestris*. Entre todas ellas, es la *V. vinifera ssp. sativa*, la que ha dominado históricamente en la industria de la uva y el vino en todo el mundo, presentando la mayoría de los cultivares comerciales existentes en la actualidad flores hermafroditas, seleccionadas por el hombre a partir de los escasos ejemplares hermafroditas aparecidos en la naturaleza por mutación (Forni, 2006). Estos cultivares se encuentran injertados sobre especies de *Vitis* americana, como pueden ser *V. rupestris*, *V. riparia* o *V. berlandieri*, comúnmente utilizadas como portainjertos debido, principalmente, a su tolerancia a la filoxera (Keller, 2020).

Dentro de la morfología de la vid, la raíz está provista de pelos absorbentes por los que penetra el agua y las sales alimenticias disponibles en el suelo. La raíz crece tanto en longitud como en diámetro, de manera que, si no hay obstáculos en el terreno, las raíces tienden a profundizar en el suelo (geotropismo positivo), y también se desplazan hacia

las zonas más ricas en humedad y nutrientes (quimiotropismo). Además, las raíces respiran, absorbiendo oxígeno del aire o disuelto en el agua, y exhalando CO<sub>2</sub>, contribuyendo así a la aportación de la energía necesaria de la planta (Hidalgo, 2002).

En la parte aérea, se pueden distinguir troncos, brazos y pulgares o trozos de ramos formados el año anterior, así como los pámpanos o ramos herbáceos del año, que se convierten en sarmientos en otoño por su agostamiento. En los pámpanos, a su vez, encontramos hojas, zarcillos y racimos o inflorescencias. La forma y longitud del tronco y brazos, depende del tipo de conducción que se adopte. Un sistema de vasos permite el transporte de la savia bruta a los órganos verdes que, una vez transformada en savia elaborada, podrá nutrir a toda la planta. Los pámpanos que nacen en el mismo año sobre otro pámpano, se llaman nietos, y los que nacen en yemas dormidas sobre madera vieja, chupones.

En la hoja, formada por un peciolo y el limbo, podemos distinguir el mesófilo situado entre el haz (epidermis superior con pocos estomas) y el envés (epidermis inferior con muchos estomas), en un corte transversal del limbo. Los estomas están constituidos por dos células arriñonadas que se unen por sus extremos dejando en el centro un orificio denominado ostiolo, que adopta una mayor o menor abertura. Cuando las hojas tienen abundante agua, las células estomáticas se dilatan y el ostiolo aumenta su abertura, pero si por el contrario falta agua en la planta, las células estomáticas se contraen y el ostiolo disminuye su abertura, cerrándose incluso en casos extremos. En el mecanismo de apertura y cierre de estomas interviene también la luz y la temperatura. Dentro de las funciones de las hojas, se encuentran la fotosíntesis, la respiración y la transpiración. Gracias a la fotosíntesis, utilizando la energía proveniente de la luz, la planta elabora nutrientes a partir de elementos inorgánicos simples (agua y CO<sub>2</sub>). Esta energía es captada por los pigmentos verdes localizados en los cloroplastos, la clorofila, que combina el CO<sub>2</sub> y el agua para formar los hidratos de carbono desprendiendo oxígeno. En la respiración, se libera energía que aprovecha la planta para su crecimiento y desarrollo, utilizando los azúcares producidos en la fotosíntesis, además del oxígeno. Por otro lado, mediante la transpiración, la planta elimina el exceso de agua absorbida por las raíces, a través de los estomas de las hojas fundamentalmente, en forma de vapor de agua. La transpiración aumenta con la sequedad del aire, la luz, el calor y el viento, y disminuye con la humedad ambiente y con temperaturas más bajas (Hidalgo, 2002).

Las yemas de la vid protegen los conos vegetativos presentes en su interior, asegurando el crecimiento del pámpano con todos sus órganos. En general, brotan el siguiente año a su formación, aunque en el caso de las llamadas 'yemas prontas' brotan el mismo año en el que se han desarrollado (a estos brotes se les llama nietos, como se mencionó anteriormente, y suelen ser infértiles o dar lugar a pequeñas inflorescencias con pocas bayas y poco ramificadas, llamadas 'racimas'). Cuando brota el viñedo, aparecen junto a las hojas unos pequeños 'racimillos' o inflorescencias en los que se van diferenciando los botones

florales dispuestos en racimos compuestos. La vid posee flores pequeñas, generalmente hermafroditas, sin pétalos visibles que se encuentran fundidos en una estructura verde denominada caliptra (Imagen 1). La flor se compone de un solo pistilo (órgano femenino) y cinco estambres (órganos masculinos). Cumplida la fecundación, se desarrollan los frutos en bayas (uvas), formados por una película exterior u hollejo, la pulpa y las semillas o pepitas, que provienen de los óvulos fecundados (Hidalgo, 2002).

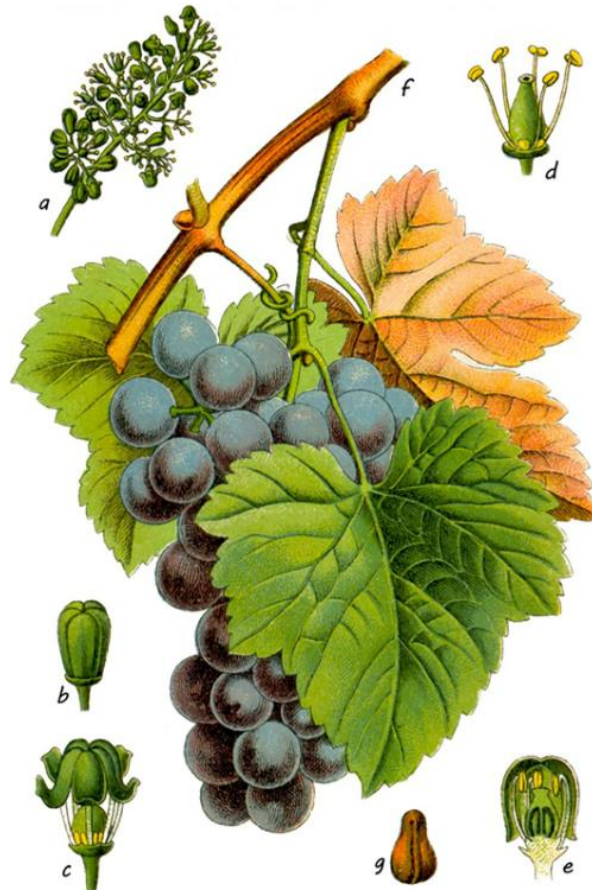


Imagen 1. Morfología del racimo y flor de *Vitis vinifera*. Sturm, 2021.

### 1.2. Origen y distribución de la viticultura

Durante el Paleolítico (2,8 millones - 8500 años a.C.), el ser humano empezó a recolectar las bayas de la vid silvestre (*Vitis vinifera ssp. sylvestris*) como fuente de alimento (Zohary, 1996). A partir de ese momento, el hombre comenzó a seleccionar aquellas plantas de vid que eran hermafroditas, debido a que sus racimos producían un mayor número de bayas. Durante este proceso, se fueron escogiendo progresivamente las plantas que presentaban bayas de mayor tamaño y cuyo contenido en azúcares era más elevado (Zohary y Hopf, 2000). Esta selección de plantas de vid se realizó tanto con el objetivo de obtener uva como alimento como para la elaboración del vino, hecho que ha podido ser contrastado debido al descubrimiento de numerosas vasijas de cerámica del periodo neolítico (8500-4000 a.C.) que contenían restos de semillas y ácido tartárico (McGovern et al., 1996;

Hidalgo 2002). Fruto de esta domesticación, surgió la vid cultivada (*Vitis vinifera ssp. sativa*), la cual presenta claras diferencias respecto a la vid silvestre, tanto a nivel fenotípico como genético (This et al., 2006).

Las evidencias más antiguas que muestran la elaboración de vino, se sitúan en una región del sur del Cáucaso que abarca los actuales países de Georgia, Armenia y Azerbaiyán. McGovern et al. (1996) detallaron la localización, en un asentamiento ubicado cerca de Zagros, de una vasija perteneciente al periodo Neolítico temprano en la cual se encontraron restos de vino. Este descubrimiento proporcionó una clara evidencia arqueológica del uso de la viticultura y el vino que data del 8500-4000 a.C. Estudios posteriores confirmaron este hallazgo mediante distintos análisis climáticos, botánicos y ambientales, indicando que tanto el polen de la uva encontrada, así como los restos epidérmicos, eran originarios de ese periodo histórico (McGovern et al., 2017).

Desde la región del Cáucaso en la que se encuentran las primeras evidencias, se produjo una expansión gradual de la vid a través de Oriente Medio, hacia Egipto, Grecia, Roma y, posteriormente, hacia el Mediterráneo occidental (Riquelme, 2018). Desde Europa, la *Vitis vinifera* L. se difundió al resto de continentes en la época del Renacimiento (siglo XVI), llegando a América en forma de semillas y esquejes procedentes de los principales países europeos. Sin embargo, no fue hasta el siglo XIX cuando se produjo la introducción de la vid en las zonas de Sudáfrica, Australia y Nueva Zelanda (This et al., 2006). Atendiendo a la distribución geográfica histórica del cultivo de vid, se observa que ésta se sitúa principalmente entre latitudes 4 y 51 grados en el hemisferio norte y entre 6 y 45 grados en el hemisferio sur, localizándose en una gran diversidad de climas (oceánico, templado, continental, mediterráneo, subtropical, tropical y árido), aunque la mayor parte de las producciones se encuentran en zonas de clima templado (Santos et al., 2020). Las regiones vitivinícolas más importantes del mundo se localizan en la franja limitada entre los paralelos 30 y 50 grados de latitudes tanto norte como sur, siendo Europa el principal territorio desde el cual se ha expandido el cultivo de la vid al resto del mundo (Martínez-Cutillas et al., 2018). Actualmente, las regiones vitivinícolas también se encuentran sujetas a estrictas normativas acerca de la tipicidad y la calidad del producto, siendo muchas de ellas aplicadas desde hace varios siglos de antigüedad (Magalhães, 2008). Además, en algunos casos, también se aplican ciertos sistemas de delimitación de las regiones vitivinícolas, como puede ser el caso de las denominaciones de origen (D.O.), entre muchos otros.

A finales del siglo XIX se produjo un acontecimiento altamente relevante en el cultivo de la vid, puesto que tuvo lugar la entrada en Europa de agentes patógenos, como el mildiu o la filoxera, procedentes de América. Este hecho provocó la destrucción de numerosos viñedos europeos, disminuyendo drásticamente la diversidad genética gene-



rada durante varios milenios de expansión geográfica. Con el objetivo de salvar la viticultura europea, claramente afectada por la aparición de estos patógenos en la zona, se llevó a cabo la introducción de varias especies de *Vitis* no viníferas. Estas vides americanas fueron empleadas como portainjertos y también se emplearon para la mejora genética y generación de híbridos interespecíficos resistentes a enfermedades (This et al., 2006). En la actualidad, la vid cultivada ha experimentado otra reducción drástica de su diversidad, principalmente debido a la globalización de los mercados, lo que ha resultado en la desaparición de viejos cultivares locales. Muestra de ello es el hecho de que el 55% de la superficie mundial de vid está cultivada únicamente con 20 variedades, siendo un claro ejemplo de la disminución de la explotación o incluso de la desaparición de numerosas variedades locales (Martínez-Cutillas et al., 2018).

### *1.3. Importancia del sector vitivinícola*

Las uvas para vinificación son el cultivo más valioso del mundo según la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación (<http://faostat.fao.org/>), y dicho valor está íntimamente ligado a la calidad de los vinos finalmente producidos (Wolkovich et al., 2018). Según los últimos datos proporcionados por la Organización Internacional de la Viña y el Vino (OIV), correspondientes al año 2019, se cultivan 7,4 millones de hectáreas de viñedo en el mundo que conllevan una producción total de 77,8 millones de toneladas de uva, de las cuales el 57% corresponde a uvas destinadas a la vinificación. Actualmente, a nivel mundial, se consumen unos 246 millones de hectolitros de vino al año, generando un valor económico de 31.400 millones de euros anuales (OIV, 2019).

España es uno de los grandes productores de vino a nivel mundial, y el primer país del mundo en cuanto a superficie de cultivo, con unas 969.000 ha, lo que se corresponde con un 13% del total de superficie mundial de vid (OIV, 2019). Los países que le siguen en superficie cultivada son China (875.000 ha), Francia (793.000 ha) e Italia (705.000 ha) con un 12%, 11% y 9% de la superficie global de viñedo, respectivamente. Por otro lado, al analizar la producción de los distintos países, España se sitúa en tercera posición como productora de vino, con un volumen anual de unos 44,4 millones de hl, por detrás de Italia y Francia, los cuales generan 54,8 y 48,6 millones de hl, respectivamente.

La importancia de la viticultura en nuestro país es de gran relevancia, desempeñando un papel destacado en el desarrollo económico, rural, ambiental y social de las regiones productoras. La viticultura se encuentra presente en todas las provincias españolas, ocupando un 6% del total de tierras cultivadas (Sánchez-Hernández, 2014), aportando el 8% de la producción vegetal y casi el 5% de la producción de la rama agraria (García-García et al., 2018). Según los últimos datos publicados por el Ministerio de Agricultura Pesca y Alimentación (MAPAMA, 2020), un 98% de la superficie total de viñedo cultivada en España (915.010 ha) corresponde a viñedo de uva para vinificación, cultivándose el 70%

de dicha superficie en secano (642.815 ha). Asimismo, cabe destacar que más del 60% de la superficie total destinada a este cultivo se encuentra inscrita en alguna Denominación de Origen (D.O.) de nuestro país, donde se produce “vino de calidad producido en una región determinada” (v.c.p.r.d.).

No obstante, en la última década, en España ha disminuido la superficie de cultivo destinada al viñedo, siendo esta disminución más acusada en el sureste español debido a un menor rendimiento del cultivo, probablemente a causa de unas condiciones climáticas muy cálidas y a episodios de sequía cada vez más frecuentes. Concretamente, en la Región de Murcia, ha disminuido la superficie de cultivo un 39%, pasando de 35.437 ha en 2009 a 21.760 ha en 2020, mientras que a nivel nacional la reducción se ha limitado a un 10% durante el mismo periodo.

### *1.4. D.O. en la Región de Murcia*

La vid en la Región de Murcia tiene un gran valor socioeconómico y ambiental, siendo la principal actividad agrícola y, en algunos casos, la única fuente de ingresos de muchos agricultores asentados en las zonas vitivinícolas. La superficie de viñedo en la Región de Murcia en el año 2020, de acuerdo con los datos facilitados por el MAPAMA, fue de 16.035 ha en secano y 12.777 ha en regadío. Generalmente, las áreas de cultivo de viñedo se encuentran en suelos pobres y terrenos marginales, con una alta demanda evaporativa en verano. La Región de Murcia se caracteriza por tener un clima mediterráneo de tipo semiárido, con veranos calurosos, llegando a alcanzar temperaturas máximas de 40 °C, con unas precipitaciones muy escasas situadas entre los 300 y 350 mm anuales. Estos factores ambientales ocasionan el bajo potencial productivo que caracteriza esta región vitivinícola.

Dentro del territorio de la Región de Murcia, se pueden encontrar tres D.O.: Jumilla, Yecla y Bullas. En ellas, destaca el cultivo tradicional en vaso, aunque es posible encontrar plantaciones en espaldera. Las variedades tintas autorizadas en estas D.O. son ‘Monastrell’, ‘Tempranillo’, ‘Cabernet Sauvignon’, ‘Syrah’, ‘Merlot’, ‘Garnacha’, ‘Garnacha Tintorera’ y ‘Petit Verdot’, siendo ‘Monastrell’ la variedad principal en las D.O. de la Región.

La D.O. Jumilla (<https://vinosdejumilla.org/>) es una de las más antiguas de España, remontándose su fundación al año 1966. Se localiza entre dos Comunidades Autónomas como son Castilla-La Mancha y la Región de Murcia. Esta zona vitivinícola se caracteriza por presentar suelos calizos, encontrándose sus viñedos a una altitud comprendida entre 400 y 900 m sobre el nivel del mar.

La D.O. Yecla (<https://www.yeclavino.com/web/es/>) fue creada en 1975, y se localiza íntegramente en terreno perteneciente al término municipal de Yecla. Sus viñedos se encuentran a una altitud que oscila entre los 535 y los 800 m sobre el nivel del mar, y sus suelos son pobres en materia orgánica, de tipo calizo, con una superficie arenosa con formaciones de arcillas.

Por último, la D.O. de Bullas (<https://vinosdebullas.es/>) fue constituida en 1994, abarcando la zona de producción del viñedo toda la extensión de los municipios de Bullas, Cehegín (donde se ha realizado esta tesis doctoral), Mula, Pliego y Ricote, y algunos parajes y pedanías de Calasparra, Caravaca de la Cruz, Moratalla y Lorca. Las áreas de cultivo de vid se encuentran a una altitud entre los 600 y 900 m sobre el nivel del mar. El tipo de suelo en esta D.O. presenta claras diferencias respecto a las D.O. mencionadas anteriormente en cuanto a profundidades y texturas, pero principalmente se caracterizan por ser suelos francos y con un buen drenaje, pobres en materia orgánica y con altos contenidos en carbonato cálcico y caliza.

Los datos reportados por la Encuesta de Viñedo de 2015 indican que ‘Monastrell’ es una variedad de gran relevancia en el sureste de España, siendo la principal variedad en las D.O. de Alicante, Almansa, Bullas, Jumilla, Yecla y Valencia. La superficie cultivada de esta variedad a nivel nacional es de 43.049 ha, quedando distribuida principalmente en tres provincias: en primer lugar, se encuentra la Región de Murcia, que presenta la mayor superficie cultivada de ‘Monastrell’ con un 47%, seguida por Castilla-La Mancha con un 37%, y la Comunidad Valenciana con un 15%.

‘Monastrell’ es una variedad adaptada a las condiciones climatológicas del sureste español, caracterizadas por frecuentes periodos de sequía y altas temperaturas, unas escasas e irregulares precipitaciones y suelos pobres en materia orgánica, presentando un gran potencial enológico de calidad con buenos rendimientos y una elevada calidad de vino bajo estas condiciones tan limitantes. Esta variedad no solo se cultiva actualmente en diferentes zonas de España, sino que también es posible encontrarla en Francia (donde es conocida como ‘Mourvedre’), en California (conocida como ‘Mataró’), en Chile y, en los últimos años, se está plantando y extendiendo su cultivo también en Australia (Riquelme, 2018). Diferentes estudios han mostrado el buen comportamiento de esta variedad frente al estrés hídrico (de la Hera et al., 2004; Romero et al., 2013; Romero et al., 2015; Romero et al., 2016a, b; Romero et al., 2018). Sin embargo, en la última década, se está observando el impacto del cambio climático en ‘Monastrell’, variedad tradicionalmente tardía, con unos adelantos de la vendimia de hasta 20 días y cuya consecuencia es una maduración en meses más cálidos que puede producir efectos negativos en la calidad de la uva y el vino (Ruiz-García y Romero, 2018).

### 1.5. Fenología de la vid en clima mediterráneo

La fenología es la ciencia que estudia los estadios vegetativos y reproductivos de las plantas y su relación con los cambios estacionales y el clima (Schwartz, 1999). En el ámbito vitivinícola, conocer la fenología de la vid es crucial, debido a la influencia que tienen las condiciones ambientales sobre las vides. Es importante tener en cuenta las características de la variedad que se va a cultivar en un lugar determinado para poder realizar así un correcto diseño del viñedo y una buena planificación del manejo del cultivo (Dry y Coombe, 2004).

En climas templados, el ciclo de la vid se divide en dos periodos a lo largo del año: uno de crecimiento, que generalmente ocurre desde el mes abril hasta los meses de octubre o noviembre; y un periodo de latencia, en el que las plantas entran en parada para evitar así posibles daños que puedan producir las bajas temperaturas del invierno en estos climas (Imagen 2). A su vez, el ciclo de crecimiento anual de la vid se divide en ciclo vegetativo y reproductivo. Para diferenciar y establecer categorías de los diferentes estados fenológicos que presenta la vid a lo largo de su ciclo anual, existen diferentes clasificaciones, siendo las más usadas las descritas por Baggiolini (1952) y la codificación BBCH (Lorenz et al., 1994).

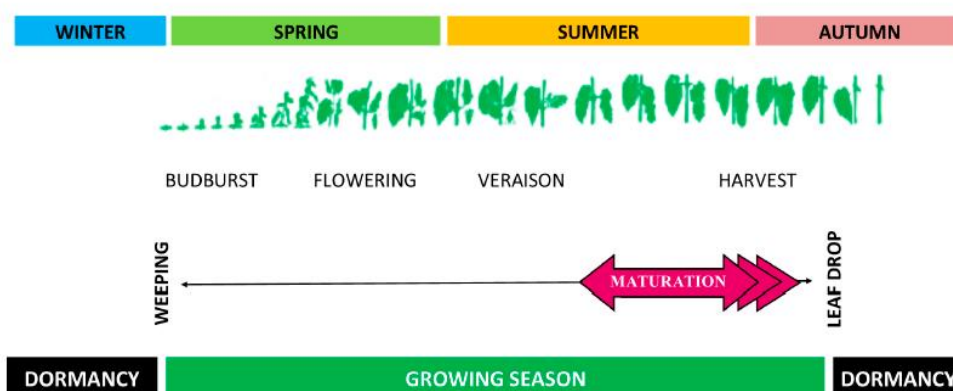


Imagen 2. Ciclo vegetativo y principales estados fenológicos de la vid. Santos et al., 2020.

#### 1.5.1. Ciclo vegetativo

En el hemisferio norte, entre el final del invierno y el principio de primavera, cuando la temperatura del suelo sube por encima de aproximadamente 7 °C (Alleweldt, 1965), comienza la transición del periodo de latencia al periodo de crecimiento, con el comúnmente llamado por los viticultores “lloro” o “sangrado” de las vides. El sangrado consiste en la exudación de savia del xilema por las superficies de poda o por heridas que no hayan suberizado. Este proceso puede durar unos días o semanas, dependiendo del vigor de la planta y de si se alcanzan temperaturas propicias para el inicio de la brotación.

El inicio del crecimiento vegetativo en la vid lo marca la brotación, que empieza en primavera con el aumento de las temperaturas, necesitando una temperatura media superior a 10 °C. Este proceso se inicia cuando las yemas han experimentado previamente un periodo de temperaturas más frías, que se define como el periodo de baja temperatura necesario para permitir que el 100% de las yemas se rompan bajo temperaturas favorables (Cooke et al., 2012). La brotación se produce en pocos días y lo hace con mayor rapidez y de manera más uniforme si las vides han experimentado un periodo de frío invernal (Kliewer y Soleimani, 1972; Currle et al., 1983), siempre que el invierno no haya sido tan severo como para dañar o matar las yemas.

El tiempo estimado para la brotación, en una temporada y lugar determinado, puede llegar a variar hasta en 5 semanas entre distintos cultivares de vid (Pouget, 1988; Bour-siquot et al., 1995; Ferguson et al., 2014; Zapata et al., 2017). También existe una variación anual, que puede llegar hasta 4 semanas de un año a otro para una misma variedad, ya que la tasa de brotación aumenta a medida que la temperatura sube por encima de 30 °C; tras pasado ese umbral de temperatura la tasa vuelve a descender. La brotación tiene una gran influencia en el resto de eventos fenológicos de la vid, afectando su retraso al normal desarrollo de la vid.

El inicio del crecimiento de brotes también depende de la temperatura, la luz y del estado interno de la planta. Si las condiciones son adecuadas, se produce un periodo de crecimiento rápido de los brotes, con la aparición de una nueva hoja cada pocos días. Generalmente, el crecimiento de los brotes en la vid se produce de manera ascendente (Keller, 2020).

En su etapa inicial, el crecimiento depende completamente de las reservas de nutrientes que tiene la planta, hasta que las hojas nuevas se vuelvan fotosintéticamente activas. Durante esta etapa, el crecimiento se caracteriza por presentar una fuerte dominancia apical (Mason et al., 2014). En climas templados, la dominancia apical disminuye una vez que se han formado alrededor de 18-20 hojas en el brote principal. Esta disminución suele ocurrir en el momento de la floración (Alleweldt e Istar, 1969), pero si la disponibilidad de agua y los nutrientes en el suelo lo permiten, el crecimiento puede reanudarse después del cuajado (Keller, 2020).

Las temperaturas óptimas para un crecimiento adecuado son entre 25 y 30 °C. Si durante la etapa de crecimiento se produce un incremento en las temperaturas, el crecimiento experimenta una desaceleración a medida que aumentan las temperaturas, llegando a detenerse si se sobrepasan los 35 °C (Buttrose, 1969; Currle et al., 1983).

La vid no forma brotes terminales, de manera que seguirá creciendo mientras que las condiciones ambientales sean favorables. La parada en el crecimiento puede producirse por el descenso de temperaturas o por la insuficiente cantidad de recursos hídricos en el

suelo, por lo que el ápice del brote se secará y morirá. Esta sensibilidad en el ápice se ha aprovechado para controlar su crecimiento en regiones donde el suelo se seca lo suficiente al principio del verano, con la aplicación apropiada de técnicas de riego deficitario.

El ciclo de crecimiento se completa en otoño con la senescencia y abscisión de las hojas (reposo invernal) coincidiendo con la disminución de la duración del día. Durante la etapa de senescencia, se produce el reciclaje de nutrientes a los órganos de la vida. La temperatura no presenta ningún efecto sobre el inicio de la senescencia, aunque temperaturas bajas pueden acelerar la tasa de senescencia una vez iniciada (Fracheboud et al., 2009). Tras el cese del crecimiento y la acumulación de sustancias de reserva, el pámpano pierde su clorofila, adquiere consistencia y se convierte en sarmiento. El agostamiento asegura la perennidad de la planta, y de él depende la resistencia de la cepa a las heladas invernales y el vigor de los pámpanos en la primavera siguiente.

El desarrollo de las yemas o crecimiento secundario coincide con la etapa del crecimiento rápido de brotes. Este crecimiento cesa cuando se produce una disminución de la duración del día después de la mitad del verano y conduce a una parada de división celular en el cambium, antes de que la temperatura sea demasiado baja para limitar la división celular (Druart et al., 2007).

El desarrollo de las primeras yemas comienza de 3 a 4 semanas antes de la brotación (Morrison, 1991). Una vez que en el tallo principal se han formado 18 hojas, las yemas se vuelven inactivas debido a que cesa la división y expansión celular. En ese momento, las yemas entran en un estado de latencia en el que los procesos metabólicos internos, como la respiración, continúan, por lo que podrían brotar si se quitan el ápice del brote o las hojas. A esta fase se le denomina paradormancia (Lang et al., 1987; Galet, 2000; Horvath et al., 2003).

La siguiente fase se denomina endodormancia, y se define como la inhibición del crecimiento de las yemas por señales internas, para evitar la brotación durante condiciones favorables a finales de verano y principios de otoño, lo cual conduciría a la muerte de los nuevos brotes debido a temperaturas bajo cero que se pueden dar a finales de otoño e invierno (Lang et al., 1987; Horvath et al., 2003). Las bajas temperaturas deben ser percibidas directamente por el meristemo apical dentro de cada yema (van der Schoot et al., 2014).

La última fase se denomina ecodormancia, definida como la inhibición del crecimiento por condiciones adversas temporales (Lang et al., 1987; Galet, 2000; Horvath et al., 2003). En otras palabras, el factor principal que evita la brotación después de la liberación de la latencia es la baja temperatura. El regreso de temperaturas más cálidas en primavera, o

de temperaturas inusualmente cálidas durante el invierno, permite que las yemas rompan y se inicie la brotación.

### 1.5.2. Ciclo reproductivo

El proceso de floración en la vid ocurre después de la brotación, necesitando una temperatura media superior a 15 °C. Un rasgo que la vid comparte con las especies leñosas perennes es que presentan dos temporadas de crecimiento para la producción de flores y frutos. Durante el primer año se formarán yemas que darán lugar a brotes que llevarán los frutos en el segundo año. La floración está absolutamente ligada a la producción; por tanto, es un paso fundamental en el camino hacia un rendimiento óptimo, siendo este uno de los principales objetivos de un viñedo.

La formación de la flor se puede dividir en tres etapas: la iniciación de la inflorescencia, la iniciación floral y la diferenciación de la flor. La iniciación de la inflorescencia se produce dentro de las yemas del brote, donde se forman meristemos laterales como primordios no comprometidos (Alleweldt e Ilter, 1969; Morrison, 1991; Gerrath, 1992; Meneghetti et al., 2006; Carmona et al., 2008); el número de primordios estará modulado por las condiciones ambientales, maximizándose con las condiciones adecuadas (Keller, 2020). Los primordios crecen rápidamente durante el verano y se detienen al final del verano cuando entran en el periodo de latencia. La reactivación se produce en la primavera siguiente, cuando los meristemos de las ramas de la inflorescencia producen meristemos adicionales que dan lugar a grupos de 3 - 4 meristemas florales, llamados primordios florales. Este proceso se denomina iniciación floral, el cual ocurre simultáneamente en todas las partes del primordio de la inflorescencia y culmina en la formación de un cáliz para cada flor futura. La última etapa es la diferenciación de la flor, también denominada organogénesis floral, que corresponde al desarrollo de los órganos de la flor y ocurre aproximadamente 5 semanas durante y después de la brotación. En primer lugar, las inflorescencias se hacen visibles en el brote y se separan. Posteriormente, aparecen sucesivamente la corola y los estambres bajo la influencia estimulante de la giberelina producida y liberada por los ovarios (Cheng et al., 2004; Binenbaum et al., 2018). El pistilo no se desarrolla hasta que las flores individuales se separan visiblemente en la inflorescencia.

Entre los factores ambientales, las altas temperaturas y la intensidad de la luz son los que más influyen en este proceso. El número de flores por inflorescencia y la producción total son casi constantes entre variedades y años, si no existen estreses ambientales que alteren el proceso de floración. Como se mencionó anteriormente, la mayoría de las variedades de vid cultivadas son hermafroditas, por lo que la polinización está asegurada, pero solo el 20 - 30% de las flores llegan al cuajado, lo que favorece un rendimiento equilibrado en campo y una calidad óptima de la uva.

Cuando los brotes de las vides despliegan entre 15 y 20 hojas (Pratt y Coombe, 1978), se produce la antesis o apertura de la flor, quedando los órganos masculinos y femeninos de las flores visibles debido al desprendimiento de la caliptra. La temperatura óptima para este proceso se sitúa entre 20 y 25 °C; mientras que si se superan los 35 °C la tasa de desprendimiento de la caliptra se reduce considerablemente (Galet, 2000; May, 2004). La polinización se produce cuando los granos de polen (gametos masculinos) producidos en las anteras llegan al estigma. En la vid se dan varios tipos de polinización, ya que pueden ser autopolinizadas, con el polen que se origina en las anteras de la flor (Mullins et al., 1992), y también se puede producir una polinización cruzada, gracias principalmente al viento (anemófila). En ese caso, el grano de polen de una planta polinizará el estigma de otra planta diferente (Scherz, 1939). En cualquiera de los dos casos, una vez que el grano de polen llega al estigma, absorbe el agua y germina formando el tubo polínico (Considine y Knox, 1979), por el que se transportarán los gametos masculinos que se fusionarán con el óvulo (gameto femenino). Esta fusión se denomina fertilización y da como resultado un cigoto, que se convertirá en un embrión capaz de producir semillas y frutos.

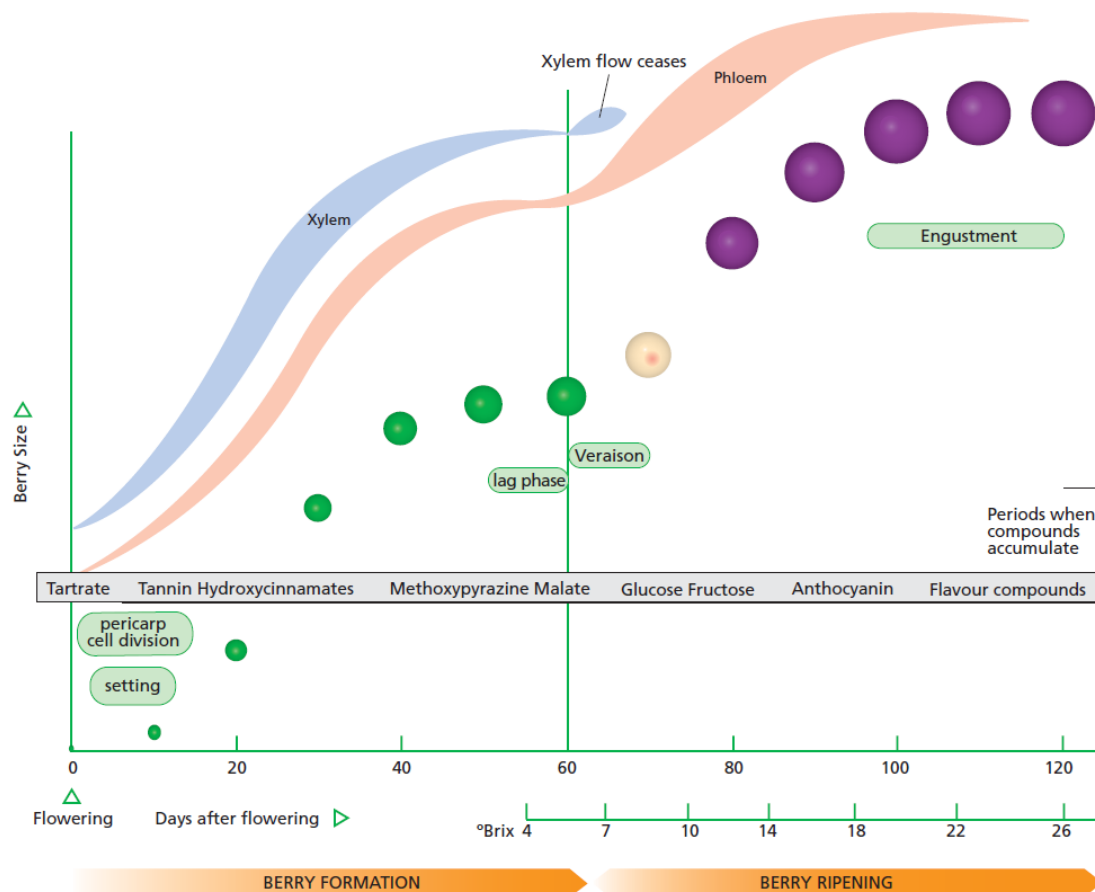
En climas templados, la temperatura óptima para la germinación del polen es de 25 a 30 °C. Si cambian las condiciones ambientales y se produce un estrés por radiación ultravioleta, junto con un estrés por calor (temperaturas superiores a 33 °C), disminuyen la germinación del polen y/o el crecimiento del tubo polínico (Torabinejad et al., 1998), lo que conduce a una reducción de la viabilidad del polen.

El desarrollo de la baya se caracteriza por presentar un patrón de crecimiento sigmoideo doble (Winkler y Williams, 1935) dividido en tres etapas; con dos ciclos de crecimiento, uno de división celular seguido de otro de expansión celular (Pratt, 1971; Gillaspay et al., 1993). Este desarrollo comienza con el cuajado y finaliza en el envero (Imagen 3). El cuajado es el proceso en el que un óvulo se convierte en una semilla, y el ovario en un fruto. El cigoto que se convertirá en el embrión no comienza a dividirse hasta 2-3 semanas después de la fertilización (Zhao, 2018). Las primeras divisiones celulares parecen estar bajo el control de genes maternos (Raghavan, 2003). Posteriormente, hay un cambio del control materno al filial donde las semillas se encargan de su propia maduración, activando los genes del embrión (Gutiérrez et al., 2007). El cuajado es muy variable entre variedades y está modulado por las condiciones ambientales y los portainjertos (Alleweldt y Hofäcker, 1975; Huglin y Balthazard, 1975; Schneider y Staudt, 1978; Keller et al., 2001).

La primera etapa del desarrollo de la baya se caracteriza por un rápido aumento del tamaño de las semillas y el pericarpio. En esta etapa, las semillas y bayas son verdes y duras, acumulándose en las bayas ácidos orgánicos y poca cantidad de azúcar. Este crecimiento está regulado por las hormonas auxinas, citoquininas y giberelinas producidas



por los embriones y liberadas en el pericarpio, alcanzando altas concentraciones al inicio de la etapa y posteriormente van disminuyendo (Pérez y Retamales, 2000; Sakakibara, 2006; Pattison y Catalá, 2012; Böttcher et al., 2013). Al finalizar esta etapa la baya habrá alcanzado aproximadamente la mitad de su tamaño.



**Imagen 3. Diagrama del tamaño relativo y el color de las bayas a intervalos de 10 días desde la floración hasta la maduración.** Kennedy et al., 2002.

La segunda etapa, llamada fase de retraso, ocurre cuando la tasa de crecimiento del pericarpio se ralentiza y las semillas entran en su etapa de maduración. Entre 10 y 15 días antes del envero, las semillas alcanzan su tamaño final y su contenido máximo en taninos (Ristic e Iland, 2005; Adams, 2006). Esta fase de retraso puede durar entre 1 y 6 semanas, dependiendo principalmente de la variedad, de manera que las variedades de maduración tardía tendrán una fase de retraso más prolongada (Alleweldt y Hifny, 1972; Curre et al., 1983).

La tercera fase, comienza con el inicio del envero en el racimo de uva y suele tener un periodo de 7 a 10 días. En esta fase se produce un cambio fundamental del metabolismo, que pasa de ser parcialmente fotosintético a totalmente heterotrófico (Keller, 2020). El envero se caracteriza por el ablandamiento y crecimiento de las bayas, junto a un aumento en el contenido de azúcares, aromas, y compuestos fenólicos, seguido de un cambio rápido en el color de la piel, de verde a púrpura o azul en las variedades tintas, y de

verde a tonalidades amarillas o doradas en las variedades blancas, dejando atrás los tonos verdes propios de la fructificación que se da en la fase del ciclo vegetativo anterior, donde la presencia de clorofila es muy alta.

La maduración de la uva se caracteriza por un gran aumento en el tamaño de la baya, a diferencia de otras especies leñosas, cuyos frutos alcanzan su tamaño final antes de que comience la maduración (Gillaspy et al., 1993). El tamaño de la baya puede estabilizarse o disminuir debido a la pérdida de agua por evaporación durante las últimas etapas de la maduración. En esta etapa, se produce una acumulación de azúcares en el pericarpio mientras que el ácido málico y la clorofila se degradan. Las antocianinas y pigmentos se acumulan en el exocarpio y en algunas variedades también en el mesocarpio. Durante la etapa de maduración, la piel de la baya adelgaza, ya que la capacidad de expansión de las células del mesocarpio es mayor que la de las células de la piel. Las semillas cambian de color verde a amarillo y, finalmente, a color marrón debido a la oxidación de los taninos en las células del parénquima del tegumento externo; además se endurecen y desecan (Huglin y Schneider, 1998; Ristic e Iland, 2005; Adams, 2006; Cadot et al., 2006), alcanzando su peso seco máximo. En ese momento se considera que las semillas están maduras, entrando en un estado de letargo hasta que se extraen o desprenden de la baya y se vuelven a rehidratar para su germinación.

El tiempo necesario para cada etapa de desarrollo de la baya y para alcanzar su tamaño final depende de la variedad, pero puede sufrir modificaciones debido a las condiciones ambientales (Keller, 2020). Por lo tanto, el tamaño final de la baya depende de factores genéticos y de factores ambientales, como la temperatura y la disponibilidad de agua. Además, el desarrollo de la baya también se modifica debido al número de semillas que se encuentra presente en ella, estando limitado por la capacidad de expansión celular y por el número de células que se encuentran fijadas desde la primera etapa de desarrollo de la baya. Un aumento del número de semillas puede retrasar la transición de una fase de crecimiento a otra (Staudt et al., 1986). El periodo de maduración finaliza con la vendimia o recolección de las uvas por parte de los viticultores.

### *1.6. Necesidades hídricas del viñedo en clima mediterráneo*

En la actualidad, el 60% de los viñedos se encuentran cultivados en zonas semiáridas. En estas regiones, el agua es un recurso limitado y la sostenibilidad de la viticultura dependerá, en gran medida, de la utilización adecuada de este recurso, convirtiéndose el agua en el principal factor limitante para el cultivo de la vid. Una baja disponibilidad hídrica afectará negativamente al desarrollo vegetativo, al rendimiento y a la calidad de la uva (Kramer y Boyer, 1995). La cantidad de agua consumida por un viñedo, durante una temporada, es muy alta y puede variar entre 300 – 700 mm, dependiendo de la variedad, de la densidad de plantación y de la interacción de la vid con el medio ambiente

(Williams, 2014; Medrano et al., 2015; Keller et al., 2016; Hochberg et al., 2017). La disponibilidad del agua necesaria por parte del viñedo está determinada por diversos factores. Generalmente, el aporte de agua al viñedo proviene de las precipitaciones (lluvia y nieve) y del riego. Otro factor que influye en la disponibilidad hídrica para el cultivo es la capacidad de almacenamiento del agua que tenga el suelo, es decir, su profundidad, textura y el contenido de materia orgánica presente en el suelo. Y por último, también influye la densidad y profundidad del sistema radicular de la planta, de manera que, del agua que se encuentra almacenada en el suelo, solo una parte podrá ser extraída por el sistema radicular y el resto se perderá progresivamente por evaporación o escorrentía. Este proceso de pérdida de agua, causado por la evaporación de agua en el suelo y por la transpiración de las plantas, se le conoce como evapotranspiración del cultivo (ETc), la cual aumenta a medida que incrementa la temperatura (Keller, 2020).

La gran mayoría de regiones vitivinícolas se encuentran en climas mediterráneos, caracterizados por tener inviernos frescos y suaves, y veranos cálidos y secos con una alta demanda evapotranspirativa. En estas regiones, la cantidad de precipitaciones puede variar de una zona vitivinícola a otra, e incluso dentro de una misma zona existe una variación anual, lo que afecta al rendimiento del viñedo y, por tanto, a la economía de la viticultura de la zona (Keller, 2020). La disponibilidad hídrica no solo depende de la cantidad de precipitaciones que recibe el viñedo, sino de cuándo caen esas precipitaciones y de lo rápido que se evaporan. En estas regiones, el aporte de agua en forma de precipitaciones se suele producir en invierno y principios de primavera, cuando las vides se encuentran en su periodo de inactividad. A medida que discurren los meses, las temperaturas aumentan con el transcurso de los días, y la humedad del suelo comienza a disminuir progresivamente, produciéndose un aumento en el déficit de presión de vapor (DPV) debido al aire cálido y seco y a las escasas precipitaciones caídas en verano (Keller, 2020). El DPV es la diferencia entre la cantidad de agua presente en el aire y la cantidad de humedad que puede retener el aire cuando está saturado. El rango del DPV oscila entre 0 y 7 KPa, siendo 0 una atmósfera saturada de humedad que limita la planta en su proceso de transpiración, y 7 un ambiente muy seco en el que las plantas reaccionan cerrando los estomas con el fin de evitar una excesiva pérdida de agua o deshidratación por transpiración. El rango de DPV óptimo está comprendido entre 0,5 – 2 KPa.

La época más crítica del viñedo, en estas regiones, se corresponde con el desarrollo y la maduración de las bayas (cuajado – envero – maduración). Este periodo crítico se produce en los meses más secos, donde las necesidades de agua de la vid son muy altas, llegando a suponer hasta un 70% del gasto de agua anual. Para evitar unos efectos no deseables en la vid, es necesario calcular las necesidades hídricas del cultivo. Aunque existe una amplia variedad de métodos y técnicas para evaluar las necesidades hídricas de un cultivo, el modelo propuesto por Allen et al. (1998) es uno de los más utilizados a

nivel práctico debido a su sencillez y robustez. Este modelo utiliza un coeficiente de cultivo ( $K_c$ ) como la relación entre la evapotranspiración del cultivo ( $ET_c$ ) y la evapotranspiración del cultivo de referencia ( $ET_0$ ), que depende de factores climáticos (radiación neta, densidad del flujo de calor del suelo, temperatura del aire, velocidad del viento y déficit de presión de vapor de saturación) de acuerdo con la ecuación de la FAO Penman-Monteith. Por lo tanto, la  $ET_c$  se calcula como  $ET_c = K_c \times ET_0$  (Allen et al., 1998). Hoy día, la gran mayoría de estudios emplean la  $ET_c$  para la programación del riego en uva de vinificación, determinando así la cantidad de agua de riego necesaria en las diferentes etapas de crecimiento del cultivo (Williams y Ayars, 2005). El cálculo de la  $ET_c$ , no solo es importante para conocer las necesidades hídricas actuales de un viñedo en una zona concreta, sino que también es importante para estimar las necesidades hídricas futuras producidas por los efectos del cambio climático. Por lo tanto, cuando se hagan proyecciones climáticas, es muy importante tener en cuenta la programación del riego basada en la  $ET_c$ , a corto y medio plazo (Phogat et al., 2020).

### *1.7. Calidad de la uva y el vino*

La calidad del vino es un concepto muy complejo de definir ya que no solo depende del material vegetal que se emplee en el cultivo (variedades y portainjertos), sino que también influyen diversos factores como: las características del medio donde se cultiva el viñedo (temperatura, luz, suelo, agua, nutrientes, etc.), las prácticas de cultivo que se realicen en el viñedo (condiciones de plantación, conducción del viñedo, poda, vendimia, etc.) y las decisiones que toma el enólogo en la elaboración del vino, que pueden ir desde el momento en el que se realiza la vendimia hasta las prácticas enológicas que realiza en el proceso de maduración y crianza del vino. Además de estos factores, también influye la subjetividad del consumidor que puede cambiar con la experiencia. Por ejemplo, para un bebedor de vino ocasional, el conocimiento del origen geográfico o la variedad tiende a ser secundario y da prioridad a la facilidad en la disponibilidad, el precio y la experiencia previa. Mientras que un consumidor más experto, tiende a valorar más la sutileza y complejidad del vino, su potencial de envejecimiento, expresión varietal, etc. En definitiva, valora más las características organolépticas que han sido producto de la maduración del vino, reflejando su lugar de origen.

Si bien es cierto que no solo se puede tener en cuenta el análisis químico a la hora de definir la calidad de un vino, se ha demostrado que la calidad está ligada a su composición fisicoquímica. Por ello, en un programa de mejora, es de vital importancia evaluar la calidad de las uvas para seleccionar las variedades que mejores características fisicoquímicas presenten. En esa evaluación, se deberá tener en cuenta los compuestos presentes en las semillas, pulpa y hollejo o piel, puesto que la presencia y cantidad de de-

terminados compuestos en estas partes de la baya va a ser determinante para la elaboración de vinos de calidad (Hidalgo, 2010). En una baya de uva, la pulpa representa entre el 70 y 90% de su peso total y contiene elementos fundamentales para la fermentación de los vinos. La pulpa es el reservorio de la baya donde se encuentran compuestos como agua, azúcares, ácidos orgánicos, sales minerales, vitaminas, enzimas, precursores aromáticos, etc. Aunque hay variedades que no presentan semillas, generalmente en el interior de la baya se encuentran las semillas, que pueden llegar a representar aproximadamente el 3% del peso de la baya. Las semillas van a proporcionar principalmente taninos y polifenoles al vino. Por último, la capa que recubre a la pulpa y semillas se denomina piel u hollejo, representado aproximadamente el 8% del peso de la baya. Por encima del hollejo se encuentra una capa denominada pruina donde se adhieren las levaduras, importantes en la fermentación de los vinos. Además, el hollejo le confiere una función protectora a la baya contra agentes infecciosos (hongos, virus y parásitos) y factores meteorológicos. En la piel de las bayas, se encuentran principalmente las sustancias aromáticas (terpenos), taninos y compuestos colorantes, como las flavonas en los vinos blancos y los antocianos en los tintos, que se van a percibir en los vinos. Aunque los compuestos aromáticos residen en las capas internas del hollejo, hay variedades como por ejemplo la 'Moscatel' cuya pulpa también presenta estos compuestos.

El agua es el componente químico predominante en las uvas y el vino, esencial en muchas de las reacciones químicas involucradas en el crecimiento de la uva, la fermentación del mosto y el envejecimiento del vino (Jackson, 2008).

Los azúcares son el siguiente compuesto con más presencia en las uvas y el vino. Los principales azúcares en uvas pertenecen al grupo químico de las hexosas, como la glucosa y fructosa y, rara vez, sacarosa. El azúcar de la uva es fundamental para el crecimiento y el metabolismo de las levaduras (*Saccharomyces cerevisiae*) responsables de la fermentación del vino, que obtienen la mayor parte de su energía metabólica de la glucosa y la fructosa. La formación de estos azúcares comienza durante el invierno, y mediante el proceso de fotosíntesis se van formando y acumulando con el paso de los días. Si las condiciones climáticas no son las adecuadas, y se produce un incremento de temperaturas o un periodo de sequía que impide el correcto funcionamiento del aparato fotosintético, la formación de estos compuestos se paraliza.

Los ácidos orgánicos son compuestos, presentes en las bayas, muy importantes para la elaboración de vinos. La acidez total de una baya se debe a la concentración de sus dos ácidos orgánicos principales, el tartárico y el málico. El ácido tartárico no disminuye prácticamente durante la maduración de la uva y su concentración repercute en gran medida en el pH del mosto. Por otro lado, el ácido málico puede constituir aproximada-

mente la mitad del total de la acidez en uvas y vino. Su concentración en baya va disminuyendo a medida que las uvas maduran, especialmente durante las épocas calurosas del final de la maduración.

Por último, hay que tener en cuenta a los compuestos del metabolismo secundario de la vid ya que influyen en la calidad final del vino en base a su concentración (Jensen et al., 2008). Entre estos metabolitos secundarios se encuentran los fenoles, que son un grupo grande y complejo de compuestos de una gran importancia para las características organolépticas y la calidad del vino, especialmente en variedades tintas (Kennedy et al., 2006; Ivanova et al., 2012). Químicamente, son un grupo de compuestos de benceno cíclicos que poseen uno o más grupos hidroxilo asociados directamente con la estructura del anillo (Jackson, 2008). Estos compuestos se pueden dividir en dos grupos, los flavonoides y los no flavonoides. Los flavonoides se caracterizan por presentar una estructura C6-C3-C6 que consta de dos anillos fenólicos unidos a un anillo central de pirano; se encuentran principalmente en el hollejo y las semillas (Cosme et al., 2009). Los no flavonoides, poseen un esqueleto C6-C3 estructuralmente más simple, y la mayor concentración de estos compuestos se encuentra en la pulpa, aunque también se pueden encontrar en el hollejo. Aunque es sabido que el contenido fenólico total del vino aumenta en las primeras etapas de la fermentación, la cantidad y su composición está influenciada por el material vegetal, las características edafoclimáticas de la zona, las prácticas culturales que se realicen en el viñedo y el momento de vendimia (Gabryeliana y Kazumya, 2018). Dentro de los compuestos flavonoides se encuentran los antocianos, principales constituyentes de los pigmentos que confieren al vino ese color rojo característico, y los taninos, constituyentes del color, estructura y astringencia de los vinos (Zamora, 2013). Las características de los vinos tintos dependen de la naturaleza, estructura y concentración de los compuestos fenólicos del racimo en el momento de la cosecha, y de su evolución a lo largo de la vinificación y de la crianza del vino.

## 2. El impacto del cambio climático

A lo largo de la historia se han producido multitud de cambios climáticos en el planeta. Pero en la actualidad, la emisión de gases de efecto invernadero por actividades antropogénicas, desde la revolución industrial, está provocando un calentamiento global sin precedentes. Durante el periodo 1880 - 2012, se ha registrado un incremento de la temperatura media global de 0,85 °C. Este calentamiento, de aproximadamente 1 °C, ya ha causado daños en muchos sistemas (Cramer et al., 2014). Existe un acuerdo casi global entre el mundo científico de que el cambio climático es un hecho que hoy día no se puede obviar.

El panel intergubernamental sobre el cambio climático (IPCC) informó en el año 2014 que “*en todos los escenarios de emisiones evaluados, las proyecciones señalan que la temperatura en superficie continuará aumentando a lo largo del siglo XXI. Es muy probable que las olas de calor ocurran con mayor frecuencia y duren más, y que los episodios de precipitación extrema sean más intensos y frecuentes en muchas regiones*”. En un estudio sobre la evolución global de la temperatura realizado por Rahmstorf et al. (2017), confirmaron que la temperatura sigue en aumento, y que durante los años 2014, 2015 y 2016 se registraron de forma consecutiva nuevos récords de temperaturas desde que se están registrando medidas. Además del aumento de la temperatura media, durante las últimas décadas se han producido cambios importantes en el régimen y distribución de precipitaciones en muchas regiones del planeta y un aumento de la concentración del CO<sub>2</sub> atmosférico. Todos estos cambios, sumados al deshielo que se ha producido en los polos en ambos hemisferios, han supuesto una alteración del ciclo hidrológico afectando a los recursos hídricos en términos de calidad y cantidad. Las proyecciones climáticas también predicen un incremento en la frecuencia de fenómenos climáticos extremos, entre los que se incluyen una disminución en las temperaturas frías extremas, un incremento en las temperaturas cálidas extremas, y un aumento en el número de eventos con precipitaciones muy intensas en numerosas regiones del mundo. Estos ejemplos de fenómenos climáticos extremos, como olas de calor, sequías, inundaciones, ciclones e incendios forestales, han sufrido un incremento en las últimas décadas en Europa, Asia, Australia y otras regiones del planeta.

Una de las grandes preocupaciones a nivel mundial en el ámbito vitivinícola es el impacto del cambio climático en la producción y conservación del vino (Jones et al., 2005; van Leeuwen et al., 2013). Los principales efectos del cambio climático que afectan a la viticultura son el aumento de la temperatura y de las tormentas ocasionales, y el descenso de la pluviometría, por lo que uno de los principales estreses más severos que se generarán en estas condiciones será la sequía, agravada por otros factores que acompañan al cambio climático como el aumento de las radiaciones entrantes (van Leeuwen y Destrac-Irvine, 2017).

### *2.1. Impacto del cambio climático en el mediterráneo*

El IPCC ha enfatizado que las áreas climáticas mediterráneas tienen más probabilidades de enfrentarse en el futuro a un aumento de la sequía y a una reducción de los recursos hídricos renovables (IPCC, 2019). Estudios recientes relacionados con el impacto del cambio climático en la viticultura (Fraga et al., 2016a; Santos et al., 2020) informan que, en el sur de Europa, y más particularmente en el sur y sureste de la península ibérica, se va a producir un incremento en las temperaturas junto con una mayor escasez de agua, como consecuencia del cambio climático. Estas regiones mediterráneas se enfrentarán a

grandes desafíos, y necesitarán grandes esfuerzos para adaptarse a los costes crecientes y para mantener la calidad y productividad de los viñedos (Fraga et al., 2012; Guiot y Cramer, 2016; Resco et al., 2016; Santillán et al., 2020).

A finales de este siglo, el incremento de la temperatura media registrada en la cuenca mediterránea de 1,3 °C es superior al incremento registrado de 0,85 °C en la temperatura media global durante el mismo periodo, y con una previsión de que estas temperaturas aumenten por encima de 2 °C a fines de este siglo (Guiot y Cramer, 2016). El incremento de temperatura no se ha producido de manera homogénea a lo largo de la cuenca mediterránea, siendo las áreas más afectadas por este incremento España, Norte de África y Oriente Medio. En España, durante el periodo de 1961 a 1990, la temperatura media se incrementó 1,4 °C; y más concretamente en la Región de Murcia se produjo un incremento de 1,5 °C en su temperatura media (ORCC, 2010). A este aumento de temperatura hay que sumarle el cambio producido en el régimen de precipitaciones durante este mismo periodo, con un descenso en la cantidad de precipitaciones y un incremento de su variabilidad. Estos factores han provocado en el sureste español un descenso de los recursos hídricos en la cuenca del río Segura que se estima en torno al 11%.

La alteración de las condiciones ambientales que se está produciendo en los ecosistemas mediterráneos provocará cambios importantes en su vegetación y biodiversidad. Se va a producir una irremediable expansión del desierto en el sur de la península ibérica si no se toman medidas y se adaptan políticas para frenar y mitigar este incremento de la temperatura, intentando mantener el incremento de temperatura por debajo del umbral de 1,5 °C (Guiot y Cramer, 2016). En el caso de que no se tomen medidas para finales de siglo, los escenarios más pesimistas pronostican un incremento que puede oscilar entre 3 y 5 °C para España y de 4 a 5 °C para la Región de Murcia, siendo más acusado este incremento en el interior debido al efecto que tiene el mar en el litoral (ORCC, 2010).

Otra alteración que se producirá a medio-largo plazo, será un descenso de las precipitaciones que oscilaría entre el 10 y 40%, sobre todo en el suroeste y sureste de la península ibérica (ORCC, 2010). Además, también se ha visto afectado el patrón de precipitaciones en la cuenca mediterránea, disminuyendo en verano e incrementando en otoño (Molina-Navarro et al., 2014). La reducción de las precipitaciones en el sureste español no sería homogénea, sino que será más importante en las zonas interiores de la cuenca hidrográfica del río Segura, más alejadas del litoral. Por lo tanto, habrá un aumento de la evapotranspiración y un incremento de las necesidades hídricas de los cultivos, con consecuencias tanto para la disponibilidad como para la calidad del agua dulce. Este descenso en los recursos hídricos se verá agravado durante los meses más cálidos y con mayor demanda evapotranspirativa en estas regiones.



En un trabajo realizado por Resco et al. (2016), se evaluaron las posibles medidas de adaptación al cambio climático en varias regiones vitivinícolas españolas. Los autores señalaron que las Denominaciones de Origen Protegidas de Jumilla y La Mancha son dos de las zonas más vulnerables al cambio climático. Estas zonas pueden sufrir un alto impacto negativo debido al incremento de la temperatura proyectada y a la previsión de la disminución de las precipitaciones para estas zonas. Por el contrario, en las zonas vitivinícolas húmedas del norte de España, el cambio climático puede tener a corto y medio plazo algunos efectos positivos, como intervalos de crecimiento de la vid más cortos, menor riesgo de heladas y de ataques de algunas plagas y enfermedades, posibilidad de cultivar un mayor número de variedades, un incremento de las zonas óptimas para el cultivo de la vid, y un aumento en la acumulación de carbono y biomasa, debido a una mayor temperatura y fijación de CO<sub>2</sub>, que puede llevar asociados algunos beneficios adicionales para la producción y la calidad (Resco et al., 2016).

## 2.2. Efectos del cambio climático en la vid

En las principales regiones productoras de vid del mundo, situadas en la cuenca mediterránea, se dan condiciones de estrés hídrico que se están viendo acentuadas por el efecto del cambio climático y por los escasos recursos hídricos que tiene la cuenca mediterránea (Fraga et al., 2013; van Leeuwen et al., 2013; Medrano et al., 2015). El incremento de los periodos de sequía irá acompañado por un aumento de las temperaturas. Estos cambios, que se están produciendo ya y que se agravarán con el paso del tiempo, no solo están afectando a nivel fenológico y fisiológico de la vid sino también a las características cualitativas de la uva y el vino (Jones y Davis, 2000; Jones et al., 2005; Duchêne et al., 2010; Schultz y Jones, 2010; Mosedale et al., 2016; van Leeuwen y Darriet, 2016; Edwards et al., 2017; Gambetta et al., 2020; Rienth et al., 2021). Ante esta preocupante situación, es probable que en las principales regiones vitivinícolas se produzca una disminución de la producción que irá asociada a una reducción en el peso de la baya y del racimo; una contención del crecimiento y de la superficie foliar, con una prematura senescencia y caída de hojas; incremento de la respiración y de la evapotranspiración, con una disminución de la actividad fotosintética; así como una intensificación del estrés hídrico (Mira de Orduña, 2010, Fraga et al., 2012; Mirás-Avalos y Intrigliolo, 2017; Ruiz-García y Romero, 2018; Ruiz-García et al., 2018; Gambetta et al., 2020; Rienth et al., 2021). Por ello es de vital importancia el estudio de las respuestas y mecanismos de adaptación de la vid frente al cambio climático que está realizando la comunidad científica durante las últimas décadas, tanto en condiciones contraladas como en condiciones de campo, evaluando el comportamiento de diferentes genotipos de vid.

El incremento de la concentración del CO<sub>2</sub> atmosférico, afecta a los parámetros fotosintéticos de la vid, incrementando la tasa fotosintética de las plantas y disminuyendo la

conductancia estomática y la transpiración, por lo que mejorará la eficiencia intrínseca en el uso del agua por parte de la planta, lo que se traducirá en un menor consumo de agua (Edwards et al., 2017). Por tanto, a priori, este efecto podría ser beneficioso para el viticultor. Sin embargo, si este incremento en la concentración de CO<sub>2</sub> supera el nivel de saturación de la RuBisCO, enzima que cataliza la fijación de CO<sub>2</sub>, y se produce junto con un aumento de la temperatura y de la radiación, tendrá un efecto negativo en el viñedo al reducirse la tasa fotosintética (Martínez-Lüscher et al., 2016). La eficiencia del uso del agua se define por la relación entre los gramos del agua transpirados por un cultivo, por gramo de materia seca producida, de manera que los cultivos más eficientes en el uso del agua producen más materia seca por gramo del agua transpirado. En plantas que presentan metabolismo C3 o C4, el uso más eficiente del agua está directamente relacionado con el tiempo de apertura estomática y resistencia estomática, ya que mientras la planta absorbe el CO<sub>2</sub> para la fotosíntesis, el agua se pierde por transpiración, con intensidad variable en función de la conductancia estomática y del gradiente de potencial entre la superficie foliar y la atmósfera, siguiendo una corriente de potenciales hídricos (Pereira-Netto, 2002). Varios son los factores que influyen directa o indirectamente en la fotosíntesis; déficit hídrico, estrés térmico (Bongi y Loreto, 1989), concentración interna y externa de gases (Kirschbaum y Pearcey, 1988) y composición e intensidad de la luz (Sharkey y Raschke, 1981). Aunque la capacidad de conducción e intercambio gaseoso por estomas se considera como la principal limitación de la asimilación de CO<sub>2</sub> para el proceso fotosintético (Hutmacher y Krieg, 1983), es poco probable que el intercambio de los gases por sí solo pueda limitar la tasa de fotosíntesis. La tasa fotosintética está directamente relacionada con la radiación fotosintéticamente activa (composición de la luz), la disponibilidad del agua, y el intercambio de gases (Naves-Barbiero et al., 2000).

Es sabido que el incremento de temperaturas está afectando a los estados fenológicos y tiempos de desarrollo de la vid, con un adelantamiento de los estados fenológicos y un acortamiento del periodo de desarrollo (Chuine et al., 2004; Dalla Marta et al., 2010; Bock et al., 2011; Daux et al., 2011; Webb et al., 2011; Santos et al., 2020). En algunas regiones mediterráneas se han visto adelantos en las cosechas de hasta 20 días (Webb et al., 2008). Sin embargo, se ha encontrado una respuesta fenológica diferente dependiendo de la variedad estudiada (Sadras et al., 2012). En la D.O. de Bullas (sureste español), donde se ha realizado esta tesis, algunos viticultores constatan que en la última década se han producido adelantos de la vendimia de hasta 20 días en la variedad 'Monastrell', siendo esta una variedad tradicionalmente tardía, confirmando el adelanto observado en otras variedades. Además, los viticultores de esta zona han observado una mayor frecuencia de años más secos y menos productivos, y una mayor incidencia de enfermedades de la madera, como la yesca (Ruiz-García y Romero, 2018). En las regiones cálidas, cuando se produce una maduración rápida de la pulpa, se produce una disminución de acidez de

la uva, debido principalmente a una degradación más rápida del ácido málico (Sweetman et al., 2014), aunque también hay diferencias entre variedades. Por ejemplo, se ha observado que los cultivares de 'Chardonnay' y 'Cabernert Franc' incrementan el pH y disminuyen la acidez cuando se encuentran sometidas a altas temperaturas, mientras en 'Syrah' no varía, manteniendo una acidez alta y un pH bajo (Sadras et al., 2012).

Las temperaturas medias del clima durante la temporada de crecimiento de la uva definen cómo será el vino: qué cantidad de azúcares tendrá al final de la maduración, qué aromas primarios y secundarios emitirá, qué cualidades del sabor, etc. En un entorno más cálido se rompe la personalidad final del vino, porque el contenido de azúcares aumenta muy rápido y hay que recoger la fruta antes para evitar que suba demasiado la graduación alcohólica (no puede pasar legalmente de 15° vol.). Pero todavía quedan algunas partes de la baya verdes, como pueden ser las semillas, y no se han alcanzado los niveles adecuados de los metabolitos secundarios, taninos y fenoles, que dan calidad al vino, dando notas no deseadas al vino. Por otro lado, la elaboración de vinos con mayor contenido alcohólico por la mayor acumulación de azúcares debido a maduraciones con altas temperaturas también modificará los perfiles sensoriales del vino (Mira de Orduña, 2010; Neethling et al., 2012; Fraga et al., 2013).

Uno de los efectos beneficiosos que se ha observado en algunos casos, debido al incremento de temperaturas, es el retraso en la caída de las hojas que ha provocado un aumento en la acumulación de carbohidratos por parte de las vides (Hall et al., 2016). Por lo tanto, el efecto negativo o positivo que puede producir el incremento de temperaturas en el desarrollo y rendimiento de la vid, es muy complejo debido a que no solo depende de la variedad, sino que está muy influenciado por las características climáticas de la zona donde se cultiven estas vides y por el año de estudio. En general, se espera que el aumento de temperaturas que se está produciendo tenga repercusiones negativas en las zonas vitivinícolas más cálidas, donde verán reducidas sus producciones, mientras que en las zonas más frías se verán incrementadas.

Otro efecto del cambio climático es el incremento de las temperaturas extremas tanto frías como cálidas, que producirán efectos negativos sobre el cultivo de la vid. Uno de los efectos que se producirían en estas zonas vitivinícolas sería el incremento de plagas y enfermedades (Fraga et al., 2013) y pérdidas de calidad y rendimiento por olas de calor sobre todo en el sureste peninsular (Resco, 2012). En investigaciones realizadas en una zona cálida de la Región de Murcia, Romero et al. (2016a, b) indicaron que en los años que se registraron una mayor temperatura máxima y mínima del aire, obtuvieron peores índices de calidad de uva 'Monastrell' comparados con años con menor temperaturas.

La mayoría de investigaciones realizadas hasta la fecha indican que en las principales regiones productoras de vid, y más especialmente en el sureste español, hay zonas vitícolas que actualmente experimentan un excesivo estrés hídrico, produciéndose una inhibición en la síntesis de antocianos, una reducción del color de la uva y la acidez, un aumento del grado alcohólico, un incremento en la volatilización de compuestos aromáticos, un incremento del riesgo de degradación organoléptica y deterioro del vino, y una reducción de la producción. Con las perspectivas de futuro que se tienen con el cambio climático, se espera que esta situación se agrave. De esta manera, zonas que hoy día son aptas para el cultivo de viñedo se verán seriamente afectadas, comprometiendo la elaboración de uvas y vinos de calidad. Esta situación empujará a los viñedos a zonas de mayor altitud para disminuir el efecto de la temperatura y a priorizar la selección de variedades menos sensibles a estas condiciones (Fraga et al., 2016b).

A todos los efectos del cambio climático ya comentados, especialmente en la cuenca mediterránea y el sureste español, hay que sumarle que los viñedos, cultivados mayoritariamente en secano, se encuentran generalmente en suelos con poca materia orgánica y baja fertilidad. Además, los suelos no suelen presentar ninguna cubierta vegetal debido a las prácticas tradicionales de cultivo, lo que está favoreciendo una degradación, erosión y pérdida del suelo muy intensa en estas zonas (Romero et al., 2022).

### *2.3. Estrategias de adaptación frente al cambio climático*

El sistema vitivinícola está obligado a cambiar y modificar su sistema tradicional de producción hacia un sistema más sostenible y holístico (Baiano, 2021; Romero et al., 2022), adoptando medidas y estrategias para mitigar y adaptarse a los efectos del cambio climático, de modo que los viticultores puedan mantener una producción y calidad adecuada en estas zonas más vulnerables (Viguie et al., 2014; Resco et al., 2016; Neethling et al., 2017; van Leeuwen et al., 2019; Santos et al., 2020; Naulleau et al., 2021; Romero et al., 2022). Actualmente, las principales medidas de mitigación se basan en el control de las emisiones de gases de efecto invernadero mediante el aumento de los sumideros de CO<sub>2</sub> (reforestación de bosques; restauración de ecosistemas dañados) y la limitación de las emisiones de CO<sub>2</sub> (mejora de la eficiencia energética; apuesta por energías renovables; movilidad sostenible, etc.). Las medidas de adaptación van dirigidas a reducir los impactos negativos y a maximizar los efectos beneficiosos del cambio climático, pudiendo producirse estas acciones a corto, medio y largo plazo. Las adaptaciones a corto plazo son de más fácil implantación y, en su mayoría, implican cambios en las prácticas enológicas. A medio plazo, las medidas conllevan un esfuerzo mayor y se centran principalmente en la gestión del viñedo (manejo de la vegetación, sistemas de conducción y poda, exposición de los racimos, sistemas de riego, uso de cubiertas vegetales y la reducción

del laboreo, etc.). Las medidas a más largo plazo afectan principalmente al material vegetal (variedades y portainjertos) y a cambios en el diseño y ubicación de los viñedos hacia localizaciones más frescas (altitudes más elevadas y latitudes mayores), lo que supone una mayor inversión además de posibles problemas normativos con las D.O. (Compés y Sotés, 2018).

La escasez de agua y el incremento de las necesidades hídricas de la vid en estas zonas obligará a aplicar riegos controlados, siempre que la disponibilidad de agua lo permita, para que el cultivo sea sostenible a largo plazo y prevenir así que la vid sufra un estrés hídrico severo, sobre todo en regiones del sureste español (Iglesias y Garrote, 2015). No obstante, Fraga et al. (2018) concluyeron en su estudio, que aun con la aplicación de un riego deficitario controlado en zonas cálidas y secas, las producciones disminuyeron de forma considerable, atribuyéndose al efecto sinérgico de un estrés térmico e hídrico. Por lo tanto, no es posible considerar el riego como la única medida a adoptar para una correcta adaptación del viñedo a medio y largo plazo en estas regiones. Asimismo, es importante destacar el hecho de que en algunas zonas será imposible la utilización de agua para el viñedo, ya sea por limitaciones legales o debido a la ausencia de agua disponible para regadío. Estas condiciones hacen necesaria la implantación de cambios en la gestión del viñedo. Estas nuevas prácticas agrícolas deberán ser una combinación de un riego eficiente, siempre y cuando sea posible, con el uso de material vegetal tolerante a la sequía, unido a un manejo sostenible del suelo (Fraga et al., 2018, Santos et al., 2020, Tortosa et al., 2020; Romero et al., 2022).

### *2.3.1. Técnicas de riego deficitario*

La respuesta al estrés hídrico depende de la combinación de distintos factores, entre los que se encuentran las variedades, los portainjertos o la combinación variedad-portainjerto (Romero et al., 2018; Degu et al.; 2019; Levin et al., 2019; Cochetel et al., 2020; Zombardo et al., 2020). En las últimas décadas, a raíz del descenso continuado de los recursos hídricos, se ha realizado un esfuerzo por parte de la comunidad científica para optimizar las técnicas de riego actuales y desarrollar nuevas estrategias de riego deficitario (RD). Se denomina RD a la aplicación de agua de regadío por debajo de los requisitos de la evapotranspiración del cultivo (ETc), de manera que el suministro de agua por parte del RD es menor en comparación con el necesario para alcanzar la ETc máxima (Ferreeres y Soriano, 2007). En otras palabras, el RD consiste en el reemplazo de las fracciones del agua perdida por la ETc, durante el periodo de crecimiento de la vid.

En función de cómo se reparte el agua total que habría que aportar durante el periodo de crecimiento de la vid, se puede hablar de dos estrategias diferentes: riego deficitario sostenido (RDS) y riego deficitario controlado (RDC). Mediante el RDS, se aplica la misma fracción de agua durante todo el periodo de crecimiento. Por el contrario, el RDC

consiste en la aplicación de diferentes fracciones de agua en función de las necesidades de cada periodo de crecimiento. En el caso de la vid, generalmente suelen aplicarse fracciones diferentes de agua antes y después del envero en función de la estrategia elegida (Romero et al., 2022). El estrés hídrico aumenta progresivamente a lo largo del periodo de crecimiento, a la vez que se produce un descenso de la reserva hídrica del suelo. En suelos con buena capacidad de almacenamiento a los que se aplica un RDS, el estrés hídrico se produce e incrementa lentamente (Fereris y Soriano, 2007). La aplicación de esta estrategia de riego ha dado lugar a buenos resultados. Por ejemplo, en un estudio realizado por Lizama et al. (2021), se observó un aumento de la calidad de la uva y del rendimiento con la aplicación de un RDS al 35% de la ETC en comparación con vides cultivadas en secano.

Sin embargo, la estrategia de RD más utilizada en áreas áridas y semiáridas es el RDC, ya que permite un mayor ahorro de agua, reduce el vigor excesivo de las vides y aumenta la eficiencia del uso del agua, a la vez que se obtiene una mejora en la calidad de las bayas y del vino (Costa et al., 2007; Iglesias y Garrote, 2015). Para una correcta aplicación de un RDC en un viñedo, el cálculo de la fracción de agua a suministrar debe realizarse en base a indicadores fisiológicos del estado hídrico de las plantas, como el potencial hídrico ( $\Psi$ ), la conductancia estomática ( $g_s$ ) y la eficiencia intrínseca del uso del agua ( $A_N/g_s$ ), entre otros, para que las vides se encuentren dentro de un rango deseable (Romero et al., 2013; Chacón-Vozmediano et al., 2020). En estudios recientes, realizados con diferentes variedades de uva injertadas en distintos portainjertos, y aplicando distintos volúmenes de agua, se ha obtenido una mejora significativa en la eficiencia del uso del agua y en la calidad de la uva, aunque también se ha producido un descenso en el rendimiento medio entre un 10% y un 24%, en comparación con un riego convencional (Castellarin et al., 2007; Acevedo-Opazo et al., 2010; Costello y Patterson, 2012; Junquera et al., 2012; Romero et al., 2013; Balint y Reynolds et al., 2014; Bassoi et al., 2015; Zarrouk et al., 2016; Keller et al., 2016; Intrigliolo et al., 2016; Romero et al., 2016a; Ayars et al., 2017; Munitz et al., 2017; García-Esparza et al., 2018; Shellie, 2019; Munitz et al., 2020).

Otra estrategia de RD que se ha desarrollado y aplicado con éxito en vid es el riego por secado parcial de la zona radicular (PRD). Esta técnica se basa en mantener parte del sistema radicular regado y sin riego la parte restante. La parte radicular sobre la que se aplica el riego es capaz de suministrar el agua a los brotes para evitar el déficit hídrico de la planta. En la sección seca se inicia la producción de señales químicas en las raíces, como la síntesis de ácido abscísico (ABA), lo que provoca el cierre estomático, afectando a la modulación de la sensibilidad estomática al déficit hídrico. En la práctica, es necesario alternar la parte seca y húmeda en intervalos de 7 a 14 días para maximizar el efecto producido por este sistema de riego (Kriedemann y Goodwin, 2003). Algunos autores

han descrito que en ambientes donde se producen condiciones de estrés hídrico, la aplicación de un PRD es más beneficioso que la aplicación del RDC (de Souza et al., 2005b; Fereres y Soriano, 2007; Romero et al., 2018; Romero et al., 2019; Alonso et al., 2021). Sin embargo, la implantación de una técnica PRD es más costosa y compleja de instalar y gestionar (García-García et al., 2012; Romero y García, 2020), y en algunos casos se ha reportado que, en función de la combinación de variedad y patrón, se han producido pérdidas de rendimiento importantes con PRD (Romero et al., 2018). Teniendo en cuenta estos factores, es importante estudiar bajo qué circunstancias el PRD se debe implantar para que sea viablemente económico en comparación con un RDC.

En los últimos años, se está llevando a cabo el desarrollo de nuevos métodos de riego que mejoren la eficiencia del uso de agua de riego. Los objetivos que se persiguen son: disminuir el agua que se pierde por evaporación y por la percolación en el suelo; maximizar la absorción de agua por el sistema radicular de la planta; y mantener una transpiración de la planta reducida mediante una óptima regulación estomática (Romero et al., 2022). Una de estas nuevas estrategias de RD es el riego subterráneo, en el cual se aplica el riego por goteo debajo de la superficie y cerca del sistema radicular. Con la utilización de este sistema de regadío, Pisciotta et al. (2018) obtuvieron un mayor ahorro del agua, en torno al 20%, en comparación con un riego superficial, todo ello sin afectar al rendimiento de las plantas ni a la calidad de la uva. Del mismo modo, mediante la aplicación del agua en el subsuelo, se puede fomentar un enraizamiento más profundo que dé lugar a una mejora del estrés hídrico de la vid cuando ésta sufre un periodo de sequía (Ma et al., 2020). Sin embargo, comparando este sistema con los actuales métodos superficiales de RD, esta técnica aún requiere de la realización de ajustes para que pueda llegar a ser viable económicamente en un futuro. Además, es necesario indagar en el estudio de la determinación de la cantidad y profundidad óptimas para la aplicación del agua en diferentes condiciones ambientales con el objetivo de perfeccionar este nuevo método.

Por lo tanto, los resultados indican que la implementación de una adecuada estrategia de RD puede ser muy útil en muchas áreas vitivinícolas para la sostenibilidad del viñedo a medio y largo plazo (Romero et al., 2016a; Romero y García, 2020; Pérez-Álvarez et al., 2021; Lizama et al., 2021). Antes de su implantación, se deberá estudiar la estrategia de RD a seleccionar para cada situación particular, teniendo en cuenta las condiciones edafoclimáticas, la combinación variedad-portainjerto, la disponibilidad de agua de riego, la producción establecida por las D.O. y el tipo de uva y vino que se desea. Por otro lado, la aplicación de riego no es la única solución, dado que en una gran parte de las regiones vinícolas el cultivo se realiza en condiciones de secano y no es posible utilizar el agua de riego. Esto se debe en algunos casos a la normativa o leyes de los países o de las regiones donde se encuentra el viñedo y a la disponibilidad de agua; y, en otros casos, a que la

aplicación de riego en el viñedo supone la implantación de un sistema de riego, que resulta inviable económicamente para el agricultor.

### 2.3.2. *Material vegetal tolerante a la sequía*

La selección del material vegetal adecuado (variedad/clon y portainjerto) a partir de la biodiversidad de la vid existente es una de las estrategias más potentes a largo plazo para adaptar la producción de vino a la escasez de agua (Pavlousek et al., 2011; Fraga et al., 2012; Reynolds et al., 2015; Romero et al., 2018; Gambetta et al., 2020; Zombardo et al., 2020). Esta biodiversidad se observa hasta en variedades somáticas, las cuales presentan perfiles genéticos similares. Pese a ello, pueden presentar diferencias en compuestos de interés enológico, como en ácidos orgánicos y compuestos fenólicos (Jiménez-Cantizano et al., 2021), y diferencias morfológicas y fenológicas (Sancho-Galán et al., 2020). Otra de las estrategias, a medio y largo plazo de adaptación a las nuevas condiciones climáticas que se producirán en las regiones vitícolas semiáridas, es la utilización de nuevo material vegetal (variedades, clones y portainjertos) que tolere o se adapte mejor las condiciones de sequía y altas temperaturas. Sin embargo, un problema al que se enfrenta esta estrategia de adaptación es la inversión económica que supone la implantación de nuevo material en una región determinada (Santos et al., 2020). Igualmente, debido a que las características organolépticas de los vinos y la fama de muchas regiones vitícolas, con sus propias características edafoclimáticas, se basan en unas variedades concretas, su reemplazo por otras más resistentes supone un gran desafío para la viticultura (Schultz y Jones, 2010).

Estudios de la variabilidad genética de la vid enfocados en la eficiencia del uso del agua y en el control del estado hídrico, han puesto de manifiesto que la tolerancia al déficit hídrico de la vid puede venir dado por diferentes mecanismos fisiológicos inducidos por el portainjerto o por la variedad (Simonneau et al., 2017). Preservar la biodiversidad existente en vid es vital, para poder afrontar las amenazas del cambio climático en un futuro (Wolkovich et al., 2017). En este sentido, la variación somática, origen de los clones dentro de una variedad, ha sido muy importante en la historia de la vid, como fuente de diversidad genética. La selección de clones más resistentes a estreses abióticos y bióticos, permite al mismo tiempo mantener la tipicidad del vino local o regional (Santos et al., 2020). Actualmente existen programas enfocados en estudiar y seleccionar los clones más productivos y mejor adaptados a las nuevas condiciones ambientales (Gatti et al., 2010; Ruiz-García et al., 2013; Roby et al., 2014; Ibáñez et al., 2015; Stanimirović et al., 2018).

Algunas variedades que se utilizan hoy en día en la cuenca mediterránea han sido catalogadas como tolerantes a la sequía: 'Cabernet Franc', 'Cabernet Sauvignon', 'Malbec', 'Merlot', 'Monastrell', 'Syrah' y 'Tempranillo' (Fraga et al., 2016b; Ruiz-García y Romero, 2018). Sin embargo, en los últimos años, algunas de estas variedades no están mostrando



buenas cualidades enológicas en regiones semiáridas del sureste español, presentando una reducción en el contenido fenólico y en la acidez, junto con un incremento del pH (Martínez-Cutillas, 2003; Ruiz-García y Romero et al., 2018); estas variaciones se asocian a los efectos del cambio climático en la calidad de la uva (Buesa et al., 2017). Una opción futura para los países situados en regiones más frías, como al norte de Europa, es que podrán beneficiarse de las variedades existentes en el sur de Europa tolerantes a la sequía (Stock et al., 2004). Sin embargo, en los países situados en regiones cálidas, será necesaria la obtención de nuevas variedades de vid, mediante cruzamientos dirigidos, para incrementar la diversidad genética de vid existente en la actualidad, con el objetivo de obtener y seleccionar un nuevo material vegetal que esté mejor adaptado al nuevo escenario climático. Actualmente, en el ámbito vitivinícola, se están desarrollando programas de mejora de vid para generar más diversidad genética que nos permita seleccionar nuevas variedades mejor adaptadas a las zonas de cultivo más áridas y cálidas (Reynolds, 2015).

Por otro lado, la búsqueda de portainjertos más eficientes y tolerantes a la sequía, a la vez que mejoran la productividad y la resistencia a plagas y patógenos transmitidos por el suelo, es otra alternativa de adaptación al cambio climático (Pavlousek, 2011; Fraga et al., 2013; Brancadoro, 2017). Debido a su importancia, numerosos estudios han evaluado los efectos del estrés hídrico en los portainjertos (Pou et al., 2008; Pavlousek, 2011; Alsina et al., 2011; Barrios-Masias et al., 2015; Simonneau et al., 2017; Romero et al., 2018; Bianchi et al., 2020), con el fin de mejorar la eficiencia en el uso del agua y mantener una producción y calidad de la uva adecuadas (Koundouras et al., 2008).

### 2.3.3. *Gestión sostenible del viñedo*

Una medida de mitigación y adaptación al cambio climático muy importante es la implementación de una buena gestión del suelo, con la que se protegería el ecosistema del mismo, mejorando su estado hídrico, reduciendo las tasas de emisiones de gases de efecto invernadero e incrementando la fijación de carbono (Santos et al., 2020). En la actualidad, las políticas de la Comisión Europea han sufrido cambios en relación a la gestión del suelo, teniendo como objetivo un suelo saludable, centrándose en mejorar su calidad y fertilidad, y en obtener una eficiencia productiva a través de la conservación de los microorganismos del suelo (Di Giacinto et al., 2020). Estos microorganismos, principalmente los hongos micorrízicos arbusculares, viven simbióticamente con la mayoría de las plantas, aportándoles beneficios y ventajas sobre las plantas no micorrizadas. Son de gran importancia en procesos como la descomposición de la materia orgánica, el ciclo de nutrientes en el suelo, la estructura del suelo y el equilibrio redox (Romero et al., 2022). Por este motivo, la microbiota presente en el suelo se considera fundamental para un funcionamiento equilibrado del mismo. Una alta biodiversidad de microorganismos

ayuda a tener suelos más saludables, productivos y con capacidad para amortiguar los posibles impactos negativos (Hendgen et al., 2018; Di Giacinto et al., 2020).

Una dificultad a la que se enfrentan los viñedos europeos de la cuenca mediterránea es la erosión del suelo, la cual se verá agravada debido a los efectos provocados por el cambio climático y el incremento de las tasas de erosión en muchos suelos, provocando así su empobrecimiento y disminuyendo su capacidad de retención de agua. Una de las estrategias para disminuir esta erosión es la reducción de la labranza en el viñedo, con la cual no solo mejora las características edáficas, sino que se reduce el consumo de combustibles y las emisiones de gases de efecto invernadero (Mangalassery et al., 2014, 2015; Žurovec et al., 2017). En el futuro, será fundamental una gestión más sostenible del suelo en el viñedo con una labranza reducida, donde se optimice la aplicación de enmiendas o compost al suelo para favorecer la microbiota, el suministro de nutrientes, la estructura del suelo y la capacidad de retención de agua, disminuyendo de esta manera la erosión del suelo (Molitor et al., 2015; Tello e Ibáñez, 2018).

Otra estrategia para reducir la erosión del suelo será el empleo de una cubierta vegetal o el uso de un acolchado orgánico o 'mulching'. La utilización de una cubierta vegetal (hierbas espontáneas, especies cultivadas o material muerto) mejora el contenido hídrico y la fertilidad del suelo, el microclima del racimo, y ayuda contra plagas y enfermedades (Fraga y Santos, 2018). Además, este tipo de cubiertas pueden controlar el vigor vegetativo en primavera, lo cual resulta muy beneficioso cuando se utilizan variedades o portainjertos de vid muy vigorosos (Pou et al., 2011). En la aplicación de esta estrategia debe considerarse cuidadosamente la combinación de la cubierta vegetal con las necesidades hídricas de las vides, ajustando un riego deficitario que evite una disminución del rendimiento de la vid, y seleccionando las especies menos competitivas con la misma (Lopes et al., 2011; Steenwerth et al., 2013; Uliarte et al., 2013; Marques et al., 2020; Cataldo et al., 2020). La estrategia denominada acolchado orgánico o 'mulching' consiste en la colocación de restos de poda (sarmientos) u otros materiales orgánicos, sobre la superficie del suelo. El objetivo no es otro que el de mejorar la disponibilidad de agua en el suelo, mejorando la infiltración del agua y reduciendo la evapotranspiración y la erosión del suelo (Prosdocimi et al., 2016). Con el empleo de esta técnica en zonas vitícolas semiáridas se ha obtenido una mejora en la calidad del vino (Cataldo et al., 2020) y un incremento en el rendimiento productivo (Chan et al., 2010; López-Urrea et al., 2020; Buesa et al., 2021). Sin embargo, este acolchado deberá ir acompañado de otras medidas complementarias, ya que en estos estudios también se observó una compactación del suelo que ocasionó una menor tasa de infiltración de agua, además del riesgo de transmitir enfermedades en el caso de que los restos de poda puedan estar infectados.

### 3. Estrés hídrico en la vid

En fisiología vegetal, el concepto de estrés se define como un factor externo que ejerce una influencia negativa sobre la planta (Taiz y Zeiger, 2006), y dependiendo de su naturaleza puede dividirse en estrés abiótico o biótico. Si el estrés es causado por factores ambientales se denomina estrés abiótico que, a su vez, puede ser químico o físico dependiendo de su naturaleza. Entre los físicos se encuentran el déficit hídrico, la salinidad, las temperaturas, la radiación, el estrés mecánico producido por el viento, la compactación del suelo o las heridas. El estrés químico puede estar causado por la acumulación de sales minerales, metales pesados, pesticidas, polución y/o aerosoles. Por otro lado, el estrés biótico es el producido por seres vivos como los virus, hongos, bacterias, insectos, plantas y animales. La capacidad que tienen las plantas para hacer frente o resistir estos estreses se denomina tolerancia, y esta tolerancia varía de una especie a otra, y depende en gran medida de las condiciones edafoclimáticas donde se encuentren.

En climas áridos y semiáridos, el estrés abiótico que más afecta a la agricultura es el hídrico, principalmente debido a la escasez e irregularidad de las precipitaciones, entre otros factores. Esta situación se agrava especialmente durante los meses de verano, donde se intensifica el déficit hídrico (Di Castri et al., 1981, Blondel y Aronson, 1999). En general, las plantas sufren un estrés hídrico cuando presentan un contenido hídrico por debajo de su estado más hidratado, generando unas respuestas y estrategias propias de cada especie que les permiten tolerar o resistir estas situaciones de estrés (Larcher, 1995).

Las plantas necesitan agua para la producción de nueva biomasa a través de la fotosíntesis, siendo necesaria la apertura estomática en las hojas para la entrada del CO<sub>2</sub> atmosférico destinado a la fotosíntesis. Las plantas utilizan la misma vía tanto para la entrada de CO<sub>2</sub> como para la transpiración, que es la salida de agua desde las hojas en forma de vapor de agua, disminuyendo su potencial hídrico. El problema al que se enfrentan las plantas es que el agua tiene un gradiente 100 veces más alto que el CO<sub>2</sub>, por lo que el vapor de agua sale más rápido por los estomas. De esta manera, cuanto más abiertos se encuentran los estomas más fácilmente entrará el CO<sub>2</sub>, pero también saldrá una mayor cantidad de agua. Por lo tanto, el elevado uso de agua por parte de las plantas resulta inevitable. De toda el agua absorbida por una planta a lo largo de su ciclo de desarrollo, solo el 5% se utiliza para su crecimiento y metabolismo, perdiéndose un 95% aproximadamente por la transpiración (Kramer, 1983), pudiendo considerarse como el coste que la planta tiene que pagar por abrir los estomas para la fotosíntesis.

Entre las funciones del agua en la planta, se encuentran: mantener unas tasas óptimas de crecimiento conservando la turgencia celular y de tejidos; el transporte de solutos dentro de la planta; participación en las rutas metabólicas y reacciones químicas que

ocurren en las células; y el enfriamiento de la planta a través del proceso de evaporación desde la superficie de las hojas. El agua puede ser absorbida por las hojas, penetrando por los estomas o también infiltrándose a través de la cutícula epidérmica, o por las raíces a través de los pelos absorbentes. Las plantas pueden utilizar el agua libre y el agua de capilaridad del suelo, siendo esta última esencial en periodos de sequía de manera que, mientras las fuerzas de cohesión que unen a las moléculas de agua no se rompan, las raíces pueden atraer una corriente continua y utilizar el agua situada a una distancia muy grande.

La vid se caracteriza por sufrir sequías estacionales en la mayoría de sus regiones productoras (Chaves et al., 2010). Su diversidad genotípica en la tolerancia a la sequía convierte a este cultivo perenne en un modelo de estudio ideal, dada la existencia de respuestas al déficit hídrico que son genotipo-dependientes (Bota et al., 2001; Gaudillère et al., 2002; Chaves et al., 2010). La respuesta al estrés hídrico por parte de la vid es muy compleja y variada, estando influenciada además de por el material vegetal (variedad, portainjerto, combinación variedad-portainjerto), por el clima, el suelo y el manejo del viñedo (Acevedo-Opazo et al., 2010; Medrano et al., 2015; Intrigliolo et al., 2016; Lavoie-Lamoureux et al., 2017). Estas estrategias se producen principalmente a través de la regulación del metabolismo primario y secundario (Romero et al., 2018; Degu et al., 2019; Zombardo et al., 2020) y ocasionan cambios fisiológicos que afectan al desarrollo de la vid, al rendimiento y a la calidad de la uva. El estrés hídrico se produce generalmente en verano, coincidiendo con una mayor escasez de agua en el suelo que impide que la planta disponga de toda el agua necesaria. Es imprescindible conocer el estado hídrico de la planta para poder actuar correctamente, así como el grado y el momento en el que se produce el estrés hídrico. En este sentido, existen diferentes métodos para determinar el estado hídrico de la planta que se pueden dividir en dos grupos amplios: métodos que aportan una información continua del estado hídrico de la planta a partir de medidas indirectas (medidas continuas en planta); y métodos que aportan información puntual del estado hídrico de la planta (medidas discontinuas en planta). Entre los métodos de medidas continuas en planta, se pueden distinguir: la temperatura del dosel vegetal; el flujo de savia; y la fluctuación del diámetro del tronco y del fruto (Klepper et al., 1971; Turner, 1990; Baille et al., 1992; Alarcón et al., 2000). Entre los métodos de medidas discontinuas en planta, se pueden distinguir: el potencial hídrico ( $\Psi$ ); la conductancia estomática a ( $g_s$ ); la tasa fotosintética ( $A_N$ ); y el crecimiento vegetativo de hojas y tallos (Klepper, 1968; Goode y Higgs, 1973; Intrigliolo y Castel, 2006; Prieto et al., 2010). El potencial hídrico es la resultante de los potenciales que surgen de los efectos de la presión de turgencia (potencial de turgencia,  $\Psi_P$ ) y solutos (potencial osmótico,  $\Psi_\pi$ ), además de interacciones con matrices de sólidos (por ejemplo, paredes celulares) y macromoléculas (potencial de matriz,  $\Psi_M$ ), y el efecto de la gravedad (potencial gravitacional,  $\Psi_G$ ), como se describe en la siguiente ecuación (Boyer, 1969):

$$\Psi = \Psi_P + \Psi_\pi + \Psi_M + \Psi_G$$

Este parámetro se utiliza comúnmente para determinar el contenido hídrico de las plantas. Los valores que se van a obtener a partir de las mediciones del potencial hídrico siempre van a ser negativos, debido a que el agua tiene el potencial hídrico igual a cero ( $\Psi = 0$ ) a presión atmosférica y 25 °C. En vid, el  $\Psi$  suele oscilar entre -0,3 y -2,0 MPa (Charrier et al., 2018). Un método ampliamente utilizado en fisiología vegetal para determinar el estado hídrico de las plantas, es la medición del potencial hídrico con una cámara de presión desarrollada por Scholander et al. (1965).

La conductancia estomática es una variable que se utiliza en fisiología vegetal para medir el intercambio gaseoso entre la planta y la atmósfera (transpiración del H<sub>2</sub>O y asimilación del CO<sub>2</sub>), el cual se realiza a través de la regulación estomática. Los estomas son actores clave en la respuesta de una planta a la sequía (Hetherington y Woodward, 2003). Ante un déficit hídrico, una de las primeras respuestas que se produce es un cierre estomático (Brodribb et al., 2003), para evitar la pérdida de agua por transpiración. Debido al cierre estomático se produce un descenso en la entrada de CO<sub>2</sub> y, por lo tanto, un descenso en la tasa fotosintética. Esta tasa fotosintética se puede definir como la fracción de energía luminosa convertida en energía química durante la fotosíntesis en plantas. Una de las técnicas más utilizadas en investigación para determinar estos parámetros de intercambio gaseoso en vid es mediante un analizador de intercambio gaseoso.

### *3.1. Efectos del estrés hídrico en la fenología de la vid*

El desarrollo de la vid se compone de un ciclo vegetativo y un ciclo reproductivo, durante los que la vid experimenta cambios constantes en términos de morfología y fisiología. El correcto desarrollo de la vid necesita de unas condiciones adecuadas de temperatura, radiación y de contenido de agua en el suelo, es decir, depende en gran medida de las condiciones atmosféricas y edafo-climáticas, que influirán finalmente en la estructura y sabor del vino (Fraga et al., 2012; 2016b). Ante un estrés hídrico, la sensibilidad de la vid es diferente según la variedad y en la etapa fenológica que se produzca (Levin et al., 2019; Cochetel et al., 2020). Como ya se ha mencionado anteriormente, en las últimas décadas, este desarrollo se está viendo afectado por el cambio climático, debido principalmente al incremento de las temperaturas, produciéndose adelantos en la fecha de brotación y una ampliación del periodo activo de vegetación (Edwards et al., 2017; Venios et al., 2020). Estos adelantos tendrán importantes implicaciones en la calidad final de la uva, dado que estos adelantos implican que algunas etapas fenológicas, como la maduración, se produzcan en unas condiciones con mayor demanda hídrica para las vides.

### 3.1.1. Brotación-Cuajado

Las primeras etapas de crecimiento vegetativo se corresponden con el periodo entre brotación y cuajado, coincidiendo con la mayor tasa de crecimiento vegetativo. Durante esta etapa, la vid necesita una humedad en el suelo, de moderada a alta, para el correcto desarrollo de brotes e inflorescencias (Hardie, 2000). Este periodo es de gran importancia debido a que durante esta fase la planta es muy sensible al estrés hídrico, y ante un nivel de estrés moderado puede que no desarrolle toda la superficie vegetativa necesaria para conseguir fruta de calidad óptima. Así que, desde un punto de vista productivo, se considera un periodo más crítico y sensible al estrés hídrico que otros periodos fenológicos (McCarthy, 1997). Un estrés hídrico durante esta etapa puede provocar un retraso en el crecimiento de los brotes, así como un desarrollo deficiente de la agrupación de flores y del crecimiento de las bayas (Hardie y Considine, 1976). En un ensayo realizado por Romero et al. (2013), observaron que manteniendo un estrés hídrico muy ligero ( $\Psi_s$  entre -0,6 y -0,8 MPa) en vides de 'Monastrell', desde brotación hasta el cuajado de la uva, se puede reducir el crecimiento de los brotes.

Generalmente, no suele ser necesaria la aplicación de riego durante este periodo gracias al agua almacenada en el suelo por las lluvias del invierno y a la baja demanda evaporativa de la atmósfera. Sin embargo, en la Región de Murcia la tendencia a un menor contenido de agua en el suelo en primavera se está volviendo más habitual debido a los inviernos más secos, como consecuencia del calentamiento global (Romero y García, 2020). Si se produce un estrés hídrico severo durante la floración y el cuajado puede provocar la desecación de los racimos y la abscisión de flores y frutos, lo que se traduce en una reducción de la carga de frutos y de la fertilidad de las yemas, afectando de manera negativa al desarrollo de inflorescencias y a la fructificación de las yemas al año siguiente (Wample y Smithyman, 2002).

### 3.1.2. Cuajado-Envero

En el periodo entre el cuajado y el envero se produce una rápida división celular en las bayas que comienza tras el cuajado, lo que conformará el tamaño potencial de la baya. Cuando las plantas tienen cubiertas sus necesidades hídricas durante este periodo, se consigue un equilibrio entre el rendimiento y la calidad, idóneo para la producción adecuada. Durante este periodo las bayas son muy sensibles a los cambios en el potencial hídrico de las vides, llegando a experimentar un marchitamiento por la sequía (Hardie y Considine, 1976; Greenspan et al., 1994). Romero et al. (2013) observaron que la suspensión de riego desde el cuajado al envero, disminuyó sustancialmente el crecimiento de las bayas, así como la actividad fotosintética, lo que provocó una inhibición de los flavonoides y del metabolismo del azúcar, y su translocación a la fruta durante el periodo de envero-maduración. Por otro lado, si durante este periodo se produce un exceso

de agua se obtendrán bayas de mayor tamaño, aumentando el rendimiento de las vides a costa de una disminución de los compuestos fenólicos y aromáticos, fundamentales para la producción de vinos de calidad. Por este motivo, en climas semiáridos debe aplicarse un riego deficitario controlado durante este periodo. En general, con un estrés hídrico controlado en este periodo se consigue aumentar el rendimiento de la eficiencia del uso del agua de las plantas y la calidad de la uva, reduciendo el desarrollo vegetativo y el crecimiento de las bayas (Santesteban et al., 2011; Intrigliolo et al., 2012; Buesa et al., 2017; Levin et al., 2020).

### 3.1.3. *Envero-Vendimia*

Un periodo muy importante es el que se desarrolla entre el envero y la vendimia, en el que se produce la síntesis de compuestos de la uva (azúcares, ácidos orgánicos, polifenoles, etc.) que determinarán los valores de distintos parámetros fundamentales de calidad de la uva y el vino, como el °Baumé, la acidez, el pH, el color, aromas, astringencia, estabilidad, etc. En este periodo la baya no es tan sensible al estrés hídrico, probablemente como resultado de cambios en la composición de la cera cuticular (Rogiers et al., 2004; Dimopoulos et al., 2020), que provocan una disminución en la transpiración. Un clima seco durante la maduración es generalmente favorable para la producción de vino de alta calidad (Jones y Davis, 2000; Nemani et al., 2001; Ramos et al., 2008). Si durante este periodo a las vides se les aplica un elevado aporte de agua, se favorecerá la acumulación de potasio, con el consiguiente efecto del aumento de pH en los vinos, así como la dilución de compuestos fenólicos, especialmente de los antocianos y flavonoles, afectando negativamente a la calidad del vino.

Estudios recientes indican que un déficit hídrico controlado afecta a la composición de la uva y el vino mejorando su calidad (Savoi et al., 2016; Vilanova et al., 2019), incrementando la proporción piel/pulpa en las bayas (Roby et al., 2004; Gambetta et al., 2020), y aumentando a su vez la cantidad de taninos y antocianinas de la piel. También se han observado diferencias de color, que pueden resultar de una mayor síntesis de antocianos causada por el déficit hídrico durante la maduración del fruto (Castellarin et al., 2007) y una mayor concentración de compuestos orgánicos volátiles (Bonada et al., 2015; Herrera et al., 2015; Picard et al., 2017).

### 3.1.4. *Vendimia-Caída de hoja*

La etapa entre la vendimia y caída de hoja es muy importante, ya que durante esta etapa las vides continúan realizando la fotosíntesis, acumulando reservas de carbohidratos en la parte leñosa que serán utilizadas al año siguiente durante la brotación de las yemas y los primeros estadios del desarrollo vegetativo. Cuando las plantas se encuentran some-

tidas a un estrés hídrico después de la vendimia, pueden sufrir una senescencia prematura, lo que conllevará un descenso en las reservas de carbohidratos necesarias para principios del año siguiente. Romero y García, 2020 observaron que durante este periodo, la aplicación de un riego poscosecha adecuado (generalmente entre 20% y 40% ETc en zonas de cultivo como las de la Región de Murcia), estimula el crecimiento en la zona radicular y se asegura que se acumulen las reservas de carbohidratos necesarias para el correcto desarrollo al año siguiente.

### *3.2. Efectos del estrés hídrico en la fisiología de la vid*

El déficit hídrico tiene, en conjunto, importantes consecuencias a nivel fisiológico, provocando tanto a corto como a medio plazo un descenso del potencial hídrico, del contenido hídrico relativo y de la conductividad hidráulica, unido a un aumento del ácido abscísico (ABA) en la zona radicular. Todos estos hechos dan lugar a un descenso de la conductancia estomática y de la fotosíntesis que, a su vez, provoca una disminución del área foliar total, así como también cambios metabólicos provocados por la disminución de agua en las células, conduciendo todo ello a una reducción importante de la producción y calidad de la uva (Moutinho-Pereira et al., 2004; Chavez et al., 2007).

La vid presenta diversos mecanismos para evitar el déficit hídrico, como incrementar al máximo la eficiencia en el uso del agua a través de la regulación estomática, incluso con leves cambios en el potencial hídrico foliar (Flexas et al., 1999; Lovisolo et al., 2010). Otro mecanismo es el ajuste osmótico mediante la acumulación activa de azúcares solubles, ácidos orgánicos y prolina (Castellarin et al., 2007; Deluc et al., 2009). Esto permite mantener la turgencia celular a bajos potenciales hídricos (Morgan, 1984), facilitando el crecimiento celular, la apertura estomática y la fotosíntesis, favoreciendo tanto la supervivencia como las adaptaciones radiculares para explorar un mayor volumen de agua del suelo (Schultz, 2003). De entre todos los mecanismos fisiológicos, el control estomático es sin duda el más importante de ellos (Tomás et al., 2014). Entre los mecanismos bioquímicos e hidráulicos que afectan a la regulación estomática (Buckley, 2019), la hormona vegetal ABA ha sido considerada como un factor clave, siendo responsable de la regulación estomática (Moreno, 2009); también está implicada en la activación de rutas reguladoras claves del metabolismo y la transcripción (Chaves et al., 2010; Cramer, 2010). En vid, se ha detectado variabilidad en la acumulación de ABA y en la sensibilidad estomática a la hormona entre portainjertos y variedades (Soar et al., 2004; Rossdeutsch et al., 2016).

En el ámbito vitivinícola está aceptado como pauta general, que las vides sin estrés hídrico presentan valores de  $g_s$  por encima de  $0,200 \text{ mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ , y con estrés hídrico severo valores inferiores a  $0,050 \text{ mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$  (Romero et al., 2022). Aunque estos valores umbral dependen de la variedad. Por ello, desde hace décadas se ha estudiado la variabilidad



que presenta la vid en relación al cierre estomático con diferentes variedades de vid y en diferentes condiciones edafoclimáticas (Charrier et al., 2018; Levin et al., 2019; Dayer et al., 2020). La gran variabilidad de esta característica queda reflejada en un reciente metaanálisis realizado por Lavoie-Lamoureux et al. (2017) sobre 40 estudios, en el que mostró que a un  $\Psi = -1,2$  MPa, la  $g_s$  variaba entre 0,045 y 0,338 mol m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup>. Desde hace décadas, algunos estudios han clasificado las variedades de vid como isohídricas o anisohídricas, en función del comportamiento en su control estomático. Las vides isohídricas son aquellas que cierran sus estomas cuando perciben una caída en el potencial hídrico del suelo, o un aumento en la demanda atmosférica. Al contrario, las vides anisohídricas no tienen un control tan estricto de las pérdidas de agua con el cierre de estomas. La clasificación de la vid en isohídrica y anisohídrica es relativamente reciente en el ámbito vitivinícola. El primer estudio donde se introdujo estos términos fue realizado por Schultz (2003), con las variedades 'Grenache' y 'Syrah'. Aunque hay numerosas publicaciones que han utilizado estos términos para comparar entre variedades de vid (por ejemplo: Rogiers, et al., 2009; Hochberg, et al., 2013; Tombesi, et al., 2014), actualmente esta clasificación se encuentra bajo gran controversia debido a que se ha observado en diferentes estudios que una misma variedad puede presentar ambos tipos de comportamiento durante la etapa de crecimiento (Poni et al., 1993), o en diferentes condiciones experimentales (Chaves et al., 2010; Lovisolo et al., 2010). Por tanto, la respuesta isohídrica o anisohídrica para un determinado cultivar dependería no solo de la variedad, sino que habrá que tener en cuenta las complejas interacciones con los portainjertos y las condiciones edafoclimáticas (Alsina et al., 2011; Prieto et al., 2010; Pou et al., 2012).

A medida que aumenta el estrés hídrico en las vides, la  $g_s$  disminuye debido al cierre estomático (Shultz et al., 2003; Medrano et al., 2003; Koundouras et al., 2008; Romero et al., 2010). Este cierre estomático reduce la entrada de CO<sub>2</sub>, lo cual provoca una disminución de la tasa fotosintética. Por lo tanto, durante periodos de estrés hídrico, la fotosíntesis depende en gran medida del cierre estomático (Gambetta et al., 2020). La vid presenta un aparato fotosintético muy tolerante a niveles leves e incluso medios de déficit hídrico (Flexas et al., 1998; Chaves et al., 2010; Dayer et al., 2020). Si la situación de estrés hídrico se agrava puede producirse un daño o la inhibición de la fotosíntesis en el aparato fotosintético (Escalona et al., 1999; Cornic, 2000; Medrano et al., 2002; Flexas et al., 2004). Aunque la intensidad y el momento de la disminución de la tasa fotosintética sean específicos de la variedad y estén relacionados con la estructura anatómica de la hoja (Tomás et al., 2014), parece que las limitaciones no estomáticas se vuelven dominantes solo cuando la  $g_s$  de la vid cae por debajo de 0,050 mol m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup> (Flexas y Medrano, 2002). Por lo tanto, ante un estrés hídrico, el control estomático de la vid es fundamental para mejorar la eficiencia del uso del agua en la vid (Escalona et al., 2012; Tomás et al., 2014).

La eficiencia del uso del agua (EUA) por parte de las plantas se puede definir como el volumen de agua que las plantas necesitarán consumir para incorporar a su biomasa una determinada cantidad de carbono proveniente de la atmósfera. La EUA depende principalmente de dos factores: en primer lugar, de las características propias de cada una de las especies; y en segundo lugar, de las características del ambiente en el que se desarrollen las plantas. Por otra parte, también dependerá de la escala en la que se considere. La EUA puede ser considerada a nivel de ecosistema, cultivo, planta entera y hoja; y también hay que tener en cuenta la escala temporal, es decir, en el momento en el que se realiza la medida (Morison et al., 2008; Flexas et al., 2010; Medrano et al., 2010). Todos estos factores dificultan la determinación e interpretación de la EUA.

A nivel de hoja o escala foliar, estas medidas tienen un enorme valor experimental ya que nos dan la posibilidad de representar este parámetro de manera sencilla, además de ser bastante representativo de la EUA a escala de planta entera. A la hora de medir este parámetro se han desarrollado principalmente dos técnicas. Por un lado, se encuentra la medición de intercambio de gases, la cual se realiza en un breve periodo de tiempo. En este caso, la EUA se define como la relación entre la tasa de asimilación de CO<sub>2</sub> o fotosíntesis neta ( $A_N$ ) y la conductancia estomática ( $g_s$ ) (EUA intrínseca:  $A_N/g_s$ ), o bien respecto a la tasa de transpiración (E) (EUA instantánea:  $A_N/E$ ). La diferencia fundamental entre una y otra es que la  $A_N/E$  dependerá de la planta y de las condiciones ambientales. Sin embargo, la  $A_N/g_s$  es independiente de estas condiciones atmosféricas en el momento de la medida. En vid, la  $A_N/g_s$  aumenta cuando las plantas se encuentran sometidas a condiciones de estrés hídrico moderado y disminuye si incrementa el estrés o si el estrés se prolonga en el tiempo, lo cual puede provocar un daño o inhibición del aparato fotosintético (Bota et al., 2016). Por otro lado, está la discriminación isotópica del carbono ( $\delta^{13}C$ ) para determinar la EUA (de Souza et al., 2005a; Chaves et al., 2007; Medrano et al., 2010). Esta medida integra un periodo de tiempo mucho mayor que el intercambio gaseoso, y se basa en la coexistencia de forma natural en la atmósfera de los isótopos de carbono estables de carbono 13 ( $^{13}C$ ) y de carbono 12 ( $^{12}C$ ). Sabemos que ambos isótopos presentan unas características químicas idénticas pero el hecho de que el  $^{13}C$  sea más pesado, da lugar a que la tasa de difusión del  $^{13}C$  en la hoja y de su asimilación por la RuBisCO sean más bajas que la del  $^{12}C$ . Por ello, la proporción de estos dos isótopos de carbono dentro de la hoja variará en función de la conductancia estomática, y estará correlacionado con la  $A_N/g_s$  medida en la hoja durante todo el periodo de formación de la misma. Sin embargo, los valores de  $\delta^{13}C$  pueden estar sujetos a importantes variaciones en función del estadio fenológico y de la naturaleza de la muestra (Bchir et al., 2014).

En la vid, es de sobra conocido que el déficit hídrico provoca a corto plazo un descenso del potencial hídrico. Este parámetro fisiológico se ha utilizado para clasificar el nivel de estrés hídrico que presentan las vides, y para establecer una correcta aplicación y gestión

de riegos deficitarios controlados en el viñedo, tanto en variedades tintas como blancas (Cancela et al., 2016; Romero et al., 2010; Romero et al., 2016b). El empleo de este indicador para la aplicación de riego fue contrastado en un reciente metaanálisis realizado por Santesteban et al. (2019). En este análisis concluyeron que tanto el potencial hídrico del tallo ( $\Psi_s$ ) como el potencial hídrico antes del amanecer ( $\Psi_{aa}$ ) representan una medición más precisa que la obtenida con el potencial hídrico foliar ( $\Psi_f$ ). Sin embargo, otros estudios indican que el  $\Psi_{aa}$  está poco relacionado con el contenido hídrico del suelo, en comparación con el  $\Psi_s$  y el  $\Psi_f$ , y no sería un indicador útil para la determinación precisa del estado hídrico de la vid bajo un riego deficitario, mientras que el  $\Psi_s$  podría ser un indicador más preciso del estado hídrico de la vid (Williams y Trout, 2005; Williams, 2017).

Normalmente en un viñedo en el que se aplica un riego, las vides se encuentran dentro de un rango seguro de potenciales hídricos ( $\Psi_s$ ) por encima de -1,5 MPa (Gambetta et al., 2020). En condiciones de secano rara vez las vides superan estos valores (Charrier et al., 2018). A medida que el déficit hídrico se intensifica, las vides presentan numerosos procesos para adaptarse a estas condiciones más adversas. Uno de estos procesos es el ajuste osmótico en el que el punto de pérdida de turgencia de la hoja puede volverse más negativo, lo que permite que la vid opere en un rango más amplio de potenciales hídricos. Si el  $\Psi_s$  se vuelve cada vez más negativo superando los -1.6 MPa, las vides pueden experimentar cavitación, lo cual puede provocar embolias en los vasos del xilema. Las vides exhiben una 'segmentación de vulnerabilidad' en la que las hojas son más vulnerables a la embolia que los tejidos perennes (p. ej., troncos y tallos). La embolia en las hojas protege a los órganos perennes de experimentar niveles de estrés hídrico que conducirían a una embolia.

Teniendo en cuenta que las variedades de vid presentan diferentes sensibilidades al estrés hídrico (Levin et al., 2019, Cochetel et al., 2020), se han establecido unos umbrales a la hora de realizar un riego optimizado y de diseñar estrategias de RD. Las vides sin estrés hídrico se encuentran en unos valores de potencial hídrico del tallo ( $\Psi_s$ ) medidos a medio día por encima de -1 MPa; con estrés hídrico leve están entre -1,0 y -1,2 MPa; y con estrés hídrico moderado  $\Psi_s$  están entre -1,2 y -1,4 MPa (Cifre et al., 2005; van Leeuwen et al., 2009; Romero et al., 2010; Gambetta et al., 2020; Miras-Avalos y Araujo, 2021; Romero et al., 2022). Valores iguales o inferiores a -1,4 MPa corresponden a un estrés hídrico severo, que puede ser peligroso para el rendimiento de la vid y la vida útil del viñedo si se mantiene durante mucho tiempo (Romero et al., 2010).

### *3.3. Efectos del estrés hídrico en el rendimiento de la vid*

En fisiología vegetal, la producción de nueva biomasa en cualquier cultivo está fuertemente determinada por la cantidad de agua disponible para la planta. En esta relación, a medida que va disminuyendo la cantidad de agua disponible, disminuye también la

producción. El rendimiento de la vid se compone de diversos parámetros como son el número de brotes, tallos, racimos y bayas. Estos componentes, multiplicados entre sí, suman el rendimiento obtenido de una sola cepa de vid (Coombe y Dry, 2006). El rendimiento de un viñedo es la suma del rendimiento de todas las cepas individuales y depende de la superficie plantada, del número de cepas productivas por unidad de superficie y del tamaño de cada cepa (Keller, 2020). A su vez, el rendimiento del viñedo se ve influido por otros factores internos y externos, y por su interacción entre ellos (Keller y Molitor, 2017; Keller, 2020). Entre estos factores se incluyen: el material vegetal utilizado (variedad, clon y portainjerto); localización del viñedo (tipo de suelo, disponibilidad de agua y nutrientes, y el clima); patrones climáticos estacionales (luz, temperatura, precipitaciones y humedad); sistema de formación y conducción del viñedo; prácticas culturales (poda, manejo del dosel, riego, nutrición y control de plagas); así como aspectos legales y económicos que regulan la zona donde se cultiva el viñedo (estilo de vino deseado, la demanda de la bodega o la regulación del rendimiento establecida por las D.O.).

El déficit hídrico en la vid normalmente reduce la fructificación de las yemas (Srinivasan y Mullins, 1981; Junquera et al., 2012), repercutiendo negativamente sobre su rendimiento (Jackson, 1991; Chaves et al., 2010; Flexas et al., 2010). Si el estrés continúa a lo largo del tiempo, el tamaño de los tallos también se verá afectado, reduciendo su tasa de crecimiento (Matthews et al., 1987; Schultz y Matthews, 1988). Un déficit de agua temprano durante el periodo de crecimiento, provoca que las inflorescencias no puedan competir con el crecimiento de los ápices de los brotes (Williams y Matthews, 1990), lo cual afectará al correcto desarrollo de los racimos reduciendo particularmente el rendimiento del viñedo. Si el estrés se produce antes de iniciarse la floración puede provocar el aborto de inflorescencias enteras, lo que limitará el número de racimos. Durante la floración puede provocar un cuajado deficiente de frutos, limitando el número de bayas en el racimo. Un estrés hídrico durante las primeras etapas del desarrollo de la baya, previas al envero, reduce el desarrollo vegetativo de la planta y el crecimiento de la baya (Santesteban et al., 2011, Intrigliolo et al., 2012, Buesa et al., 2017, Levin et al., 2020), pudiendo acelerar también el cambio de color de la baya (Herrera y Castellarin, 2016). En un reciente estudio realizado por Levin et al. (2020) sobre 15 variedades de vid cultivadas en campo, se mostró que el déficit de agua antes del envero no solo reduce el rendimiento en la temporada actual, sino que también pueden reducirlo en la temporada siguiente, al disminuir la fructificación de las yemas y, por tanto, el número de racimos/vid. En este ensayo observaron que un déficit hídrico severo ( $\Psi_s \leq -1.5$  MPa), previo al envero, fue responsable de la interrupción del desarrollo de yemas para el año siguiente.

### 3.4. Efectos del estrés hídrico en la calidad de la uva

El efecto del estrés hídrico en la calidad de la uva y el vino, en ambientes semiáridos, ha sido objeto de numerosos estudios (Delorie et al., 2005; des Gachons et al., 2005; Bindon et al., 2008; van Leeuwen et al., 2009; Romero et al., 2018). Se ha demostrado que la vid responde al estrés hídrico modulando varias vías metabólicas en baya, que afectan a la composición y sabor de las uvas y el vino (Deluc et al., 2009; Savoi et al., 2016), como los flavonoides y los compuestos orgánicos volátiles (Gambetta et al., 2020). Este efecto va a depender del momento del desarrollo de la vid en el que se produzca, y de la intensidad del estrés. En términos generales, podríamos decir que un estrés hídrico moderado ( $\Psi_s$  entre  $-1,2$  y  $-1,4$  MPa) y bien gestionado a lo largo del ciclo vegetativo mejora la calidad de las uvas de manera sustancial, reduciendo el peso de las bayas y la acidez total, y aumentando el contenido de azúcares, la concentración de polifenoles (Chaves et al., 2007; Romero et al., 2010; Zarrouk et al., 2016; Zufferey et al., 2017) y la relación piel/pulpa (Chacón-Vozmediano et al., 2020). Sin embargo, cuando se supera un cierto umbral de estrés hídrico ( $\Psi_s > -1,4$  MPa), estos efectos beneficiosos sobre la calidad de la uva dejan de observarse, llegando a afectar incluso de manera negativa (Acevedo-Opazo et al., 2010; Medrano et al., 2015; Baeza et al., 2019). Estos cambios en la calidad de la uva se pueden reflejar también en la calidad del vino (van Leeuwen et al., 2009; Zufferey et al., 2017; Romero et al., 2018), aunque no siempre ocurre así encontrándose resultados contradictorios (Bindon et al., 2013; Kennedy et al., 2002).

En el caso de los azúcares, se ha observado una acumulación en la baya siempre que las plantas no superen un valor de  $\Psi_s$   $-1,3$  MPa (Mirás-Avalos e Intrigliolo, 2017), en cuyo caso desciende la concentración de azúcares. Sin embargo, la aplicación de un estrés hídrico no siempre produce un incremento de azúcares (Shellie, 2011; Santesteban et al., 2011; Junquera et al., 2012; Casassa et al., 2015), debido a distintos factores como la variedad, la intensidad del estrés y el momento de su aplicación. En un análisis realizado por Gambetta et al. (2020) sobre 18 estudios realizados con cuatro variedades distintas ('Cabernet Sauvignon', 'Merlot', 'Syrah' y 'Tempranillo'), comparando condiciones de riego bien irrigadas (riego control), con un déficit hídrico moderado y severo, encontraron que solo en 7 de los 18 estudios el déficit hídrico moderado y severo afectó significativamente la concentración de azúcar, aumentando un 5% y 7,8% de media, respectivamente.

Respecto a los ácidos orgánicos, cuando la vid se encuentra sometida a un estrés hídrico moderado se produce una disminución del ácido tartárico en la uva y, sobre todo, del ácido málico, disminuyendo la acidez total de las bayas (Intrigliolo y Castel, 2009; Bellvert et al., 2016; Cooley et al., 2017). Si el nivel de estrés hídrico se agrava, la acidez total se sigue reduciendo debido principalmente a la mayor combustión o pérdida del ácido málico (Bucchetti et al., 2011), de manera que cuanto más estrés hídrico sufran las vides,

menor es la acidez total de las bayas (Miras-Avalos e Intrigliolo, 2017). Al igual que lo anteriormente descrito en el caso de los azúcares, en su análisis Gambetta et al. (2020) describieron que pocos experimentos identificaron un efecto del déficit de agua sobre la acidez total (5 de 15 para déficit moderado y 6 de 15 para déficit severo). Y en todos los casos menos uno, la acidez titulable se redujo (aproximadamente un 12% para déficit moderado y severo). Este análisis indica que las variedades responden de manera diferente al déficit hídrico.

Por otro lado, está ampliamente aceptado que el estrés hídrico afecta de manera significativa a la composición fenólica de las bayas (Bindon et al., 2008; Romero et al., 2010, Santesteban et al., 2011; Cook et al., 2015;), de manera que las vides que se encuentran bajo un estrés hídrico moderado presentan un mayor contenido de compuestos fenólicos y de antocianos (Roby et al., 2004; Chaves et al., 2010; Romero et al., 2010), llegando en algunos casos a aumentar el contenido total de antocianos entre un 30% y 50% (Romero et al., 2016a, 2016b; Ju et al., 2019). En concreto, este incremento en el contenido de antocianos da como resultado vinos tintos con una pigmentación más intensa (Herrera et al., 2015; Cáceres-Mella et al., 2018). Esta acumulación está influenciada por el momento en el que se produce el estrés (antes o después del envero), por su intensidad y por el año (Koundouras et al., 2009; Romero et al., 2010; Ollé et al., 2011; Intrigliolo et al., 2012). Sin embargo, la acumulación de compuestos fenólicos y de antocianos no siempre se produce con la aplicación de un estrés hídrico moderado (Casassa et al., 2015; Bonada et al., 2015; Herrera et al., 2017; Brillante et al., 2018), produciéndose en algunos casos incluso una pérdida en la acumulación de antocianos (Zarrouk et al., 2012; de Oliveira et al., 2013). También se ha descrito que en ambientes con temperaturas elevadas durante el inicio de la maduración, sobrepasando los 35 °C, se produce una disminución en la síntesis de antocianos y su concentración en baya (Barnuud et al., 2014; Romero et al., 2016a, b), debido a su degradación y a una inhibición de los genes responsables de su síntesis (Mori et al., 2007). Esta disminución se ve acentuada si, además, el estrés hídrico es severo, es decir, con  $\Psi_s < -1,6$  MPa (Romero et al., 2016a, b).

## II. Objetivos





El objetivo global planteado en esta tesis es la identificación y selección de nuevas variedades de uva de vinificación, obtenidas a partir de 'Monastrell', que sean tolerantes a condiciones de escasez de agua y de altas temperaturas y, por tanto, que puedan adaptarse mejor a la sequía, uno de los efectos adversos del cambio climático en zonas vitícolas semiáridas.

Para ello, se han estudiado en campo seis genotipos obtenidos dentro del programa de mejora de uva de vinificación del IMIDA, procedentes de cruzamientos de 'Monastrell' por 'Cabernet Sauvignon' y por 'Syrah', durante cuatro años. Estos seis genotipos fueron preseleccionados de entre once genotipos analizados en 2018. Los genotipos se han cultivado bajo dos condiciones de riego: (1) bajo la aplicación de un riego deficitario controlado que aporta un 25-30% de la evapotranspiración del cultivo; (2) en secano, con el aporte solo del agua procedente de las precipitaciones.

Este objetivo global se ha abordado mediante la evaluación en campo de parámetros agronómicos, fisiológicos y productivos, junto con el análisis en el laboratorio enológico de la calidad de la uva. El objetivo global se ha desglosado en tres objetivos concretos:

1. Analizar el efecto del riego en los distintos parámetros evaluados.
2. Determinar el efecto del año en los parámetros evaluados.
3. Seleccionar nuevas variedades que se puedan adaptar mejor a condiciones de sequía.



## III. Material y Métodos



## 1. Localización y clima

Los ensayos se realizaron durante las campañas 2018, 2019, 2020 y 2021, en una de las zonas vitícolas más cálidas de la Región de Murcia, situada en el Chaparral (Cehegín, Murcia), en la finca experimental “Hacienda Nueva” (Imagen 4) del Instituto Murciano de Investigación y Desarrollo Agrario y Medioambiental (IMIDA). Las coordenadas geográficas de dicha parcela son: latitud 38°06'40.7" Norte; longitud 1°40'50.3" Oeste. La altitud de la parcela es de 433 m sobre el nivel del mar.



Imagen 4. Finca experimental “Hacienda Nueva” del Instituto Murciano de Investigación y Desarrollo Agrario y Medioambiental (IMIDA). Fuente: Google Maps.

El clima de la zona es mediterráneo de tipo semiárido, con veranos calurosos (con máximas de 40 °C), y un índice medio de precipitaciones escaso que puede ser inferior a 350 mm anuales. Las condiciones ambientales durante los años 2018, 2019, 2020 y 2021, fueron monitoreadas diariamente en la estación meteorológica (Campbell mod. CR 10X) ubicada en la finca experimental y perteneciente al Servicio de Información Agraria de Murcia (SIAM, <http://siam.imida.es>). Las variables controladas fueron: evapotranspiración de referencia ( $ET_0$ , mm), precipitación (PREC, mm), déficit de presión de vapor (DPV, KPa), temperatura diaria del aire máxima ( $T_{MAX}$ , °C), media ( $T_{MED}$ , °C) y mínima ( $T_{MIN}$ , °C), radiación acumulada ( $RAD_{ACU}$ , MJ/m<sup>2</sup>), máxima ( $RAD_{MAX}$ , W/m<sup>2</sup>) y media ( $RAD_{MED}$ , W/m<sup>2</sup>). En la Tabla 1 se muestran los valores medios mensuales de las variables meteorológicas correspondientes al periodo de 2001-2021. Durante los últimos 20 años,

el valor medio anual acumulado para la  $ET_0$  fue de 1206 mm y de 345 mm para las PREC. Por otro lado, el valor medio anual durante el periodo 2001-2021 con respecto al DPV fue de 0,96 KPa y de 15,3 °C para la  $T_{MED}$ .

**Tabla 1. Valores medios de las variables meteorológicas registradas mensualmente en el periodo 2001-2021.**

Mes	$ET_0$ (mm)	PREC (mm)	DPV (KPa)	$T_{MAX}$ (°C)	$T_{MED}$ (°C)	$T_{MIN}$ (°C)	$RAD_{ACU}$ (MJ/m <sup>2</sup> )	$RAD_{MAX}$ (W/m <sup>2</sup> )	$RAD_{MED}$ (W/m <sup>2</sup> )
Enero	38	31	0,41	13,2	6,6	0,7	289	812	107
Febrero	52	17	0,52	13,5	8,1	3,3	351	997	141
Marzo	85	44	0,63	16,0	10,9	5,5	497	1198	189
Abril	107	39	0,74	18,1	13,7	9,4	540	1336	225
Mayo	143	29	1,11	22,6	17,5	12,3	746	1390	280
Junio	173	14	1,61	26,7	22,3	17,2	791	1336	310
Julio	192	3	1,96	28,7	25,3	22,0	818	1236	311
Agosto	165	16	1,76	28,2	24,9	21,0	697	1193	267
Septiembre	109	47	1,15	24,8	20,8	16,6	541	1143	208
Octubre	71	25	0,77	21,0	16,2	11,0	425	998	158
Noviembre	41	47	0,47	16,3	10,2	4,7	280	852	114
Diciembre	30	33	0,35	13,4	7,1	1,9	250	728	97
<b>Año</b>	<b>1206</b>	<b>345</b>	<b>0,96</b>	<b>20,2</b>	<b>15,3</b>	<b>10,5</b>	<b>6224</b>	<b>1101</b>	<b>200</b>

Valores acumulativos durante el periodo 2001-2021: Evapotranspiración de referencia ( $ET_0$ , mm), Precipitaciones (PREC, mm) y Radiación acumulada ( $RAD_{ACU}$ , MJ/m<sup>2</sup>). Valores medios durante el periodo 2001-2021: Déficit de presión de vapor (DPV, KPa), Temperatura diaria del aire máxima ( $T_{MAX}$ , °C), media ( $T_{MED}$ , °C) y mínima ( $T_{MIN}$ , °C), Radiación máxima ( $RAD_{MAX}$ , W/m<sup>2</sup>) y media ( $RAD_{MED}$ , W/m<sup>2</sup>).

## 2. Características edáficas

Al inicio del ensayo, se realizó una caracterización del suelo con muestras representativas que se tomaron de dos zonas de la parcela y a dos profundidades diferentes (0 – 30 cm y 30 – 60 cm). Los análisis fueron realizados por el equipo de Nutrición Vegetal del departamento de Desarrollo Rural, Enología y Agricultura Sostenible del IMIDA, siguiendo los métodos oficiales de análisis de suelos descritos en el BOE Núm. 78, 6778, del 31 de marzo de 1976 (Orden de 5 de diciembre de 1975). Las muestras de suelo se secaron en un horno a 60 °C durante 4-5 días, y posteriormente se tamizaron en un tamiz de 2 mm de luz para el análisis de la composición química del suelo.

El pH se determinó partiendo de 10 g de suelo al que se añadió 25 mL de agua destilada. El porcentaje de saturación se calculó siguiendo la fórmula:

$$\text{Humedad, \%} = (P - P') 100/P$$

P = peso en g de la muestra de suelo

P' = peso en g de la muestra de suelo seco

Los aniones (carbonatos, bicarbonatos, cloruros, nitratos, nitritos, sulfatos, fosfatos, bromuro y fluoruro) presentes en la pasta saturada se midieron utilizando un cromatógrafo iónico (881 Compact IC pro, Metrohm). La determinación de los cationes (sodio, potasio, calcio y magnesio) se realizó con un espectrómetro de absorción atómica (Solaar AA spectrometer, ThermoElemental).

La materia orgánica total, materia orgánica fácilmente oxidable y el carbono orgánico total se determinaron mediante el método Walkley – Black. El nitrógeno orgánico fue determinado mediante el método Kjeldahl y el fósforo fue determinado por el método Olsen.

### 3. Material vegetal

El material vegetal seleccionado inicialmente para este estudio fueron 12 genotipos nuevos obtenidos de cruces de ‘Monastrell’ (M) con ‘Cabernet Sauvignon’ (C) y con ‘Syrah’ (S): MC16, MC19, MC38, MC49, MC56, MC59, MC72, MC80, MC84, MC90, MS49 y MS104. Estos genotipos, todos tintos, se obtuvieron dentro del programa de mejora de uva de vinificación que se inició en el IMIDA a finales de los años 1990s, con ‘Monastrell’ como variedad principal, y fueron seleccionados inicialmente en base a su gran calidad fenólica en las condiciones de cultivo propias de la zona (Fernández-Fernández et al., 2020a, b). Se analizaron 20 plantas de cada genotipo, incluidas las variedades parentales, injertadas sobre el patrón 110 de Richter y cultivadas bajo un riego deficitario sostenido en el que se aportó entre el 40-60% de la ETC. Para cada uno de los 12 genotipos, los valores medios (2012-2017) del contenido de polifenoles totales (CFT) en piel-pepita y del contenido de antocianos fueron superiores a 2800 mg Kg uva<sup>-1</sup> y a 2000 mg Kg uva<sup>-1</sup>, respectivamente. Estos valores excedieron a los valores de las variedades parentales durante el mismo periodo y condiciones de cultivo: ‘Monastrell’ (1528 mg Kg uva<sup>-1</sup> y 939 mg Kg uva<sup>-1</sup>, respectivamente), ‘Cabernet Sauvignon’ (2220 mg Kg uva<sup>-1</sup> y 1450 mg Kg uva<sup>-1</sup>, respectivamente) y ‘Syrah’ (1984 mg Kg uva<sup>-1</sup> y 1583 mg Kg uva<sup>-1</sup>, respectivamente).

En 2015 se plantó en campo el portainjerto 110-Ritcher, mayoritariamente usado en la zona por presentar una buena adaptación a la sequía y promover un buen potencial cualitativo de la uva (Ollat et al., 2015; van Leeuwen y Destrac-Irvine, 2017). En 2016 se injertaron los distintos genotipos sobre el portainjerto ya prendido (enraizado) en campo, según el diseño experimental mencionado en el correspondiente apartado. En 2017, tras observar el desarrollo de la plantación, se descartó del estudio el genotipo MC90 por no presentar un crecimiento adecuado.

El sistema de formación empleado es en espaldera de cordón bilateral con un sistema vertical de tres hilos. Las hileras de vid tienen una orientación de N-NO a S-SE, y la densidad de plantación es de 2,5 m entre hileras y 1 m entre vides. La poda se realizó a tres pulgares por brazo y dos yemas por pulgar. En todas las campañas de estudio, se realizaron operaciones de poda en verde para ajustar 12 brotes por planta para todos los genotipos y tratamientos de riego.

La identificación genotípica e inequívoca del material vegetal (Tabla 2) se realizó mediante PCR y el análisis de 8 marcadores moleculares tipo SSR (Simple Sequence Repeat) como se describe en Bayo-Canha et al. (2012). El perfil genético obtenido nos permitió confirmar que el material vegetal procede de los cruzamientos de ‘Monastrell’ por ‘Cabernet Sauvignon’ (MC) y por ‘Syrah’ (MS), y que se trata de 11 genotipos nuevos y diferentes entre sí.

**Tabla 2. Genotipo obtenido con el análisis de 8 marcadores moleculares tipo SSR.**

Material vegetal	Vmc1a12	Vmc1e11	Vmc5e9	Vmc8g6	Vviv67	Vvmd5	Vvmd28	Vvmd27
Monastrell	119 137	188 194	214 227	139 173	357 364	223 237	242 256	177 187
Cabernet S.	121 150	192 196	195 218	161 165	364 372	229 237	232 234	173 187
Syrah	137 150	196 206	218 222	169 173	361 381	223 229	216 226	187 189
MC16	119 150	192 194	218 227	139 165	357 372	229 237	234 256	187 187
MC19	137 150	188 196	214 218	161 173	364 364	237 237	232 242	177 187
MC38	119 150	188 196	195 227	139 165	364 364	237 237	232 242	173 187
MC49	119 121	188 192	195 214	165 173	364 364	229 237	232 242	173 187
MC56	119 121	192 194	218 227	161 173	357 364	237 237	234 256	187 187
MC59	119 121	188 196	195 214	139 161	364 372	223 237	232 256	173 187
MC72	121 137	194 196	195 227	139 165	364 372	223 229	234 256	173 177
MC80	121 137	194 196	195 214	165 173	357 364	223 237	232 256	187 187
MC84	121 137	188 192	214 218	161 173	357 372	237 237	234 256	187 187
MS49	137 150	188 206	214 218	173 173	357 381	229 237	226 242	187 187
MS104	119 150	194 196	218 227	169 173	361 364	223 223	226 256	187 187

Los tamaños amplificados se expresan en pares de bases (pb).

## 4. Diseño experimental y Tratamientos de riego

El diseño experimental original consistió en un diseño de bloques en los que se injertaron al azar los 12 genotipos y las variedades parentales, y se aplicaron dos tratamientos de riego (Imagen 5). Se analizaron tres réplicas por genotipo, tratamiento de riego y parámetro evaluado. Cada réplica constó de 6 plantas por genotipo y tratamiento de riego, de las que se evaluaron 4 plantas por réplica, prescindiendo de las plantas de los extremos para evitar el efecto borde y la posible influencia de tratamientos anexos. Por tanto, por cada genotipo se evaluaron 24 plantas (12 por cada tratamiento de riego).

De los 11 genotipos estudiados en 2018, se preseleccionaron 6 genotipos para continuar con su estudio en 2019, 2020 y 2021.



	Bloque 1		Bloque 2		Bloque 3	
	RDC (25-30%)	Secano	RDC (25-30%)	Secano	RDC (25-30%)	Secano
F1	Monastrell	Monastrell	Syrah	Syrah	Cabernet Sauvignon	Cabernet Sauvignon
F2	MC16	MC59	MC49	MC80	MC38	MC19
F3	MC19	MC30	MC38	MS104	MC72	MC84
F4	MC38	MC72	MC16	MC49	MC90	MS104
F5	MC49	MS104	MS49	MC72	MC19	MC16
F6	MC56	MC16	MC84	MC38	MS104	MC80
F7	MC59	MC84	MC72	MC90	MC49	MC56
F8	MC72	MC49	MC56	MC59	MS49	MC38
F9	MC84	MC38	MC80	MC19	MC16	MS49
F10	MC80	MS49	MC90	MC84	MC56	MC72
F11	MC90	MC56	MC19	MC16	MC80	MC59
F12	MS49	MC19	MS104	MC56	MC59	MC90
F13	MS104	MC80	MC59	MS49	MC84	MC49
F14	Cabernet Sauvignon	Cabernet Sauvignon	Monastrell	Monastrell	Syrah	Syrah

Imagen 5. Diseño experimental inicial de la parcela de estudio.

Los tratamientos de riego aplicados fueron:

1. Riego deficitario controlado (RDC): que aportó el 25-30% de la ETc.
2. Secano: que solo aportó el agua de las precipitaciones.

La programación del riego se realizó de manera semanal siguiendo el protocolo descrito por Romero et al. (2010), calculando la evapotranspiración del cultivo (ETc) mediante la siguiente ecuación:

$$ETc = ET_0 \times Kc$$

siendo  $ET_0$  la evapotranspiración de referencia calculada diariamente con la ecuación de Penman-Monteith-FAO (Allen et al., 1998), y utilizando diferentes coeficientes de cultivo ( $Kc$ ) basados en los propuestos por la FAO y ajustados para el área mediterránea.

En nuestro ensayo, la  $ET_0$  se calculó semanalmente a partir de los valores medios de los últimos 10 años obtenidos con los datos climáticos diarios recogidos en la estación meteorológica ubicada en la finca experimental. Los valores del  $Kc$  utilizados han sido los propuestos por Romero et al. (2010): 0,35 en abril; 0,45 en mayo; 0,5 en junio; 0,75 en julio hasta mediados de agosto; 0,60 para finales de agosto hasta mediados de septiembre; y 0,45 para mediados de septiembre hasta finales de octubre. El cálculo del balance hídrico teórico de la plantación durante las campañas 2018, 2019, 2020 y 2021 se recoge en el Anexo 1.

El tratamiento de RDC aplicado en el ensayo (Tabla 3), se seleccionó porque otros autores han comprobado que permite mantener una producción adecuada y de muy buena calidad enológica en la zona (Romero et al., 2010). Debido a las altas temperaturas sufridas en verano durante las tres primeras campañas, se aplicaron dos riegos de apoyo en el año 2018 (12 y 30 de agosto), dos riegos de apoyo en el año 2019 (6 y 20 de agosto) y un riego de apoyo en el año 2020 (22 de agosto), con el fin de evitar un estrés hídrico muy

severo en secano, que causara daños irreversibles en las plantas. En la campaña 2021 no se tuvo que aplicar ningún riego de apoyo a la plantación. Los riegos de apoyo se aplicaron por igual en toda la parcela para mantener la diferencia total de agua entre tratamientos de riego, y fueron equivalentes a la media del historial pluviométrico de la zona de los últimos 10 años.

El sistema de riego estuvo formado por dos ramales de riego para cada fila. Uno de los ramales, utilizado para aplicar el abonado y los riegos de apoyo, disponía de 1 gotero autocompensante por planta de un caudal de 4 L/h. El otro ramal, utilizado para aplicar el tratamiento de riego deficitario controlado (RDC), disponía de 1 gotero autocompensante por planta en RDC de un caudal de 8 L/h, y no disponía de goteros en la zona del tratamiento de secano. En los años 2015, 2016 y 2017, se aplicaron riegos para el correcto establecimiento de la plantación, con una aportación de 252 mm/planta al año. En los años sucesivos (2018, 2019, 2020 y 2021), se aplicaron los correspondientes tratamientos de riego desde abril hasta octubre (brotación-poscosecha), con un valor medio de 144 mm/planta al año en las condiciones de RDC.

**Tabla 3. Cantidad total de agua (mm) aportada anualmente en riego deficitario controlado (RDC) y secano desde brotación hasta poscosecha.**

Periodo fenológico	Año 2018		Año 2019		Año 2020		Año 2021	
	RDC	Secano	RDC	Secano	RDC	Secano	RDC	Secano
Brotación-Cuajado	25,8	0,0	25,9	0,0	25,7	0,0	25,5	0,0
Cuajado-Envero	61,5	0,0	60,7	0,0	60,9	0,0	60,3	0,0
Envero-Cosecha	57,6	8,7	54,7	8,7	50,4	5,2	45,0	0,0
Postcosecha	11,1	0,0	10,6	0,0	10,9	0,0	11,0	0,0
<b>Total</b>	<b>155,9</b>	<b>8,7</b>	<b>151,9</b>	<b>8,7</b>	<b>148,0</b>	<b>5,2</b>	<b>141,8</b>	<b>0,0</b>

Las técnicas de cultivo, abonado, tratamientos fitosanitarios y mantenimiento del suelo y cultivo, se realizaron de la misma manera en toda la parcela. El abonado se aplicó con un riego (5 mm/planta) cada campaña en dos épocas (Anexo 2); en abril (antes de la brotación) y en octubre (después de la cosecha). Antes de realizar el tratamiento de abonado se realizó un riego de 10 mm/planta para preparar el terreno. No se realizó laboreo del suelo durante las tres campañas de estudio. El mantenimiento del suelo se realizó con la aplicación de herbicidas en la línea de goteros y eliminando las hierbas en las calles con maquinaria agrícola.

## 5. Caracteres fenológicos y control de crecimiento y desarrollo de la plantación

El estado fenológico, crecimiento de brotes primarios, área foliar y peso de poda fueron evaluados para los genotipos estudiados durante el periodo 2018-2021.

### 5.1. Caracteres fenológicos

Durante los años de estudio se registraron las fechas de distintos estados fenológicos de la vid (Baggiolini 1952): brotación, floración, envero y vendimia. En 2019, 2020 y 2021 se registraron además las fechas del inicio y la caída total de las hojas. La fecha de brotación se consideró como aquella en la que el 50% de las yemas de una planta se encuentran en el estado fenológico C de Baggiolini (punta verde); fecha de floración como aquella en la que el 50% de las flores se encuentran en estado fenológico I (estambres visibles); fecha de envero como aquella en la que el 50% de las bayas han iniciado el cambio de color y/o la pérdida de clorofila y el ablandamiento de las mismas (estado fenológico M); la vendimia (estado fenológico N) se realizó cuando los distintos genotipos alcanzaron la madurez fisiológica adecuada; fecha de inicio de caída de hojas como aquella en la que se produce la caída del 5% de las hojas (estado fenológico O1); fecha de caída total de hojas como aquella en la que se produce la plena caída de hojas (estado fenológico O2). La madurez fisiológica empieza cuando la uva ha alcanzado su tamaño máximo y la concentración más alta de azúcares. En este punto, el grano empieza a disminuir de tamaño, la uva pierde agua mostrando algunos granos deshidratados en el racimo, y presenta una buena madurez organoléptica de la piel y pepitas maduras (color marrón).

### 5.2. Crecimiento de brotes primarios

El control del crecimiento de los pámpanos se realizó cada 15 días midiendo la longitud de 2 pámpanos marcados por planta, seleccionados a partir del tercer brote comenzando desde la cruz de la planta. Las medidas se realizaron desde mediados de mayo hasta finales de julio. Una vez al año, con la poda en verde, se realizó el conteo del número de brotes primarios por planta para ajustarlo y mantenerlo a 12 brotes por planta en todos los casos.

### 5.3. Área foliar total

En el año 2019, cuando las plantas se encontraban en parada de crecimiento, se recogieron 12 tallos de distintos tamaños para cada genotipo, tratamiento de riego, y réplica. Se separaron las hojas de cada tallo principal y secundario y se midió el área foliar en el

laboratorio utilizando un medidor de área foliar LI-3000, siguiendo la estrategia descrita por Romero et al. (2010). Teniendo en cuenta la longitud de cada tallo y su área foliar, se obtuvo una ecuación de regresión que relaciona la longitud del tallo con su correspondiente área foliar para cada genotipo y tratamiento de riego (Tabla 4), donde “y” corresponde al área foliar total (m<sup>2</sup>), “x” corresponde a la longitud del tallo principal (m) y r<sup>2</sup> corresponde al coeficiente de correlación del ajuste lineal de la ecuación de regresión (Tabla 4). Estas ecuaciones se utilizaron en 2019, 2020 y 2021 para el cálculo del área foliar total (m<sup>2</sup> vid<sup>-1</sup>), de los 6 genotipos preseleccionados, como la suma de las superficies foliares del tallo principal y de los secundarios, midiendo en campo la longitud de todos los sarmientos de la planta en las cepas seleccionadas.

**Tabla 4. Ecuaciones de regresión obtenidas para determinar el área foliar en función de la longitud del tallo principal.**

Genotipo	Riego	Ecuación	r <sup>2</sup>
MC16	RDC	y = 20,47x - 97,59	0,94
	Secano	y = 23,02x - 194,39	0,95
MC19	RDC	y = 29,37x - 711,96	0,97
	Secano	y = 27,23x - 315,75	0,98
MC72	RDC	y = 32,11x - 461,24	0,98
	Secano	y = 31,12x - 351,67	0,98
MC80	RDC	y = 24,84x - 331,30	0,97
	Secano	y = 21,63x - 114,59	0,96
MS49	RDC	y = 25,66x - 249,39	0,98
	Secano	y = 29,06x - 565,65	0,94
MS104	RDC	y = 23,24x - 227,35	0,92
	Secano	y = 23,33x - 293,41	0,95

RDC, riego deficitario controlado; y, área foliar total (m<sup>2</sup>); x, longitud del tallo principal (m); r<sup>2</sup>, coeficiente de correlación del ajuste lineal.

#### 5.4. Peso de madera de poda

En la época de poda de invierno, se pesaron los sarmientos de cada cepa (g vid<sup>-1</sup>) de manera individual, y se calculó el peso medio de la madera de poda por genotipo, tratamiento de riego, y réplica, anotándose además el número de sarmientos. Se empleó una balanza con una pesada máxima de 60 kg y 0,001 g de sensibilidad.

Con el peso de madera de poda y el peso de vendimia se calculó el índice de Ravaz, que se expresa como la relación entre el rendimiento de la cosecha y el peso de la madera de poda, indicando si hay o no equilibrio entre la producción y el desarrollo vegetativo de las plantas.

## 6. Parámetros fisiológicos

Los parámetros fisiológicos se midieron para cada genotipo, tratamiento de riego y réplica (4 plantas por réplica), evitando las plantas de los bordes.

### 6.1. Potencial hídrico de la planta

El potencial hídrico del tallo medido a medio día  $\Psi_s$  (MPa) se determinó quincenalmente, antes de realizar el riego correspondiente, desde el comienzo del crecimiento vegetativo (mediados de junio) hasta la vendimia (finales septiembre), utilizando una cámara de presión Scholander (modelo 600; Soil Moisture Equipment, Santa Bárbara, CA). Las mediciones se realizaron en hojas sanas y maduras, totalmente expandidas y expuestas; estas hojas se taparon previamente con bolsas de plástico y aluminio, dos horas antes de la medición del  $\Psi_s$  a medio día (McCutchan y Shackel, 1992). En función del  $\Psi_s$  que presentaron los genotipos, se catalogó su estado hídrico teniendo en cuenta las indicaciones de diversos autores (Cifre et al., 2005; Linares et al., 2007; van Leeuwen et al., 2009; Romero et al., 2010); sin estrés hídrico,  $\Psi_s > -1,0$  MPa; estrés hídrico medio,  $\Psi_s$  entre  $-1,0$  y  $-1,2$  MPa; estrés hídrico moderado (parada de crecimiento),  $\Psi_s$  entre  $-1,2$  y  $-1,4$  MPa; estrés hídrico severo,  $\Psi_s < -1,4$  MPa.

El efecto acumulativo del déficit hídrico se determinó con la integral de estrés hídrico ( $S_\Psi$ ) calculada para cada tratamiento, siguiendo la ecuación definida por Myers (1988) como la suma de la diferencia media de dos mediciones consecutivas del potencial hídrico de la planta ( $\bar{\Psi}_{i,i+1}$ ) y el valor máximo (menos negativo) registrado durante el periodo de estudio ( $c$ ), multiplicado por el número de días del intervalo entre una medida y la siguiente ( $n$ ).

$$S_\Psi = \sum_{i=0}^{i=t} (\bar{\Psi}_{i,i+1} - c)n$$

Para el cálculo de la  $S_\Psi$  se utilizaron los valores del  $\Psi_s$  obtenidos durante todo el periodo vegetativo.

### 6.2. Intercambio gaseoso

Los parámetros de conductancia estomática ( $g_s$ , mol H<sub>2</sub>O m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup>), fotosíntesis neta ( $A_N$ ,  $\mu\text{mol CO}_2$  m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup>) y eficiencia intrínseca del uso del agua ( $A_N/g_s$ ,  $\mu\text{mol CO}_2$  mol H<sub>2</sub>O<sup>-1</sup>), se midieron entre las 9:00 y 11:00 am, los mismos días en los que se midió el potencial hídrico, con un equipo de fotosíntesis portátil LI-6400 (LI-COR, Lincoln, NE) provisto con una cámara de hoja ancha (6,0 cm<sup>2</sup>). Durante las mediciones, la temperatura de la cámara de la hoja se mantuvo entre 25 y 32 °C, el déficit de presión de vapor de hoja a

aire (DPV) a  $2.0 \pm 0.5$  KPa, y la humedad relativa del 40 al 50%. La tasa de flujo de aire molar dentro de la cámara de la hoja fue de  $500 \mu\text{mol mol}^{-1}$ . Todas las mediciones se tomaron a una concentración de  $\text{CO}_2$  de referencia de  $400 \mu\text{mol mol}^{-1}$  y un flujo fotónico fotosintético saturado de  $1500 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ , utilizando una fuente de luz roja/azul (LED 6400-02B) adjunta a la cámara de la hoja.

El nivel de estrés de los genotipos con respecto a la  $g_s$ ,  $A_N$  y  $A_N/g_s$ , se clasificó teniendo en cuenta las indicaciones de diversos autores. En un estudio realizado por Romero et al. (2010), concluyen que la variedad ‘Monastrell’ cultivada en esta misma zona bajo un RDC se encuentra en un estado hídrico óptimo con valores de  $A_N$  entre  $10 - 12 \mu\text{mol CO}_2 \text{m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ; de  $g_s$  entre  $0,120 - 0,150 \text{mol H}_2\text{O m}^{-2} \text{s}^{-1}$  y de  $A_N/g_s$  de  $85 - 90 \mu\text{mol CO}_2 \text{mol H}_2\text{O}^{-1}$ . Otros investigadores como Medrano et al. (2002), diferencian varios niveles de estrés de las plantas C3 para la regulación estomática, distinguiendo tres categorías: estrés severo (valores de  $g_s < 0,050 \text{mol H}_2\text{O m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ), estrés moderado ( $0,050 < g_s < 0,150 \text{mol H}_2\text{O m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ) y sin estrés ( $g_s > 0,150 \text{mol H}_2\text{O m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ). En base a estos resultados, en la Tabla 5 se recogen diferentes niveles de estrés en función del valor de  $g_s$  y  $A_N$ .

**Tabla 5. Niveles de estrés hídrico en función de los valores de conductancia estomática ( $g_s$ ) y tasa fotosintética ( $A_N$ ).**

Parámetro fisiológico	Sin estrés	Estrés moderado	Estrés fuerte	Estrés severo
$g_s$ ( $\text{mol H}_2\text{O m}^{-2} \text{s}^{-1}$ )	$> 0,150$	$0,150 - 0,120$	$0,120 - 0,050$	$< 0,050$
$A_N$ ( $\mu\text{mol CO}_2 \text{m}^{-2} \text{s}^{-1}$ )	$> 12$	$12 - 10$	$10 - 6$	$< 6$

En otro estudio realizado por Bota et al. (2016), se establecieron tres categorías de la eficiencia intrínseca en el uso del agua, en función del rango de valores de la  $A_N/g_s$  obtenidos y diferenciando dichas categorías en función de si las plantas se cultivan en un buen estado hídrico o sometidas a un estrés fuerte en condiciones de secano. Teniendo en cuenta estos datos y los obtenidos en este trabajo, en la Tabla 6 se recogen los distintos rangos de valores utilizados para clasificar la eficiencia obtenida de cada genotipo y tratamiento de riego.

**Tabla 6. Niveles de eficiencia intrínseca del uso del agua ( $A_N/g_s$ ) en riego deficitario controlado (RDC) y secano.**

Parámetro fisiológico	Tratamiento Riego	Alta	Buena	Baja
$A_N/g_s$ ( $\mu\text{mol CO}_2 \text{mol H}_2\text{O}^{-1}$ )	RDC	$> 90$	$90 - 80$	$< 80$
$A_N/g_s$ ( $\mu\text{mol CO}_2 \text{mol H}_2\text{O}^{-1}$ )	Secano	$> 120$	$120 - 100$	$< 100$

## 7. Caracteres productivos, morfológicos y de calidad de la uva

Los caracteres productivos, morfológicos y de calidad de la uva se evaluaron en el momento de la vendimia, para cada genotipo, tratamiento de riego y réplica (4 plantas por réplica).

### 7.1. Caracteres productivos

La producción se evaluó anotando el número de racimos por planta, la producción total ( $\text{Kg vid}^{-1}$ ) y calculando el peso medio del racimo (producción total/número de racimos); el peso medio de la baya se calculó a partir del peso de 100 bayas representativas. La producción total se determinó en una báscula de 60 kg de pesada máxima con una sensibilidad de 0,001 g.

### 7.2. Caracterización morfológica de racimo y bayas

La caracterización morfológica de racimos y bayas se realizó siguiendo los correspondientes descriptores de la OIV (OIV, 2019). En el caso de los racimos, se utilizaron racimos representativos de cada genotipo, tratamiento de riego y réplica: OIV 202, longitud del racimo (1, muy corto  $\leq 80$  mm; 3, corto hasta 120 mm; 5, medio hasta 160 mm; 7, largo hasta 200 mm; 9, muy largo  $\geq 240$  mm); OIV 203, anchura del racimo (1, muy estrecha  $\leq 40$  mm; 3, estrecha hasta 80 mm; 5, mediana hasta 120 mm; 7, ancha hasta 160 mm; 9, muy ancha  $\geq 200$  mm); OIV 204, compacidad del racimo (1, muy suelto; 3, suelto; 5, medio; 7, compacto; 9, muy compacto).

La caracterización morfológica de las bayas se realizó a partir de 30 bayas representativas por réplica y tratamiento de riego, seleccionadas al azar de las distintas zonas de racimos representativos: OIV 220, longitud de la baya (1, muy corta  $\leq 8$  mm; 3, corta hasta 13 mm; 5, media hasta 18 mm; 7, larga hasta 23 mm; 9, muy larga  $\geq 28$  mm); OIV 221, anchura de la baya (1, muy estrecha  $\leq 8$  mm; 3, estrecha hasta 13 mm; 5, mediana hasta 18 mm; 7, ancha hasta 23 mm; 9, muy ancha  $\geq 28$  mm); OIV 243, peso medio de las semillas por baya (1, muy bajo  $\leq 10$  mg; 3, bajo hasta 25 mg; 5, medio hasta 40 mg; 7, alto hasta 55 mg; 9 muy alto  $\geq 65$  mg). También se determinó el número de semillas por baya, el color del hollejo y pulpa, y el sabor de la baya. La Longitud y anchura de la baya se midió con un calibre digital (Mitutoyo CD-15D). El peso de bayas, hollejos y pepitas se determinó en una balanza de precisión (Mettler Toledo AB204-S) con una precisión de indicación de 0,1 mg / 0,01 mg.

### 7.3. Calidad de la uva

Los parámetros de calidad evaluados en el momento de la vendimia, por genotipo, tratamiento de riego y réplica, fueron: contenido de antocianos ( $\text{mg Kg uva}^{-1}$ ), contenido de polifenoles totales (CFT) en piel-pepita ( $\text{mg Kg uva}^{-1}$ ), grado Baumé, acidez total ( $\text{g/L}$  tartárico), ácido tartárico ( $\text{g/L}$ ), ácido málico ( $\text{g/L}$ ) y pH. También se estimó la relación de ácido tartárico/ácido málico y el índice de madurez considerado como la relación entre el °Baumé y la acidez total.

Para cada réplica y tratamiento de riego, se seleccionaron al azar 350 bayas de distintas zonas de los racimos. De esta muestra representativa, se seleccionaron 30 bayas para analizar por triplicado (10 bayas por cada repetición): el contenido de antocianos ( $\text{mg Kg uva}^{-1}$ ), por colorimetría según el método Puissant-Léon (Cayla et al., 2002); y el contenido de polifenoles totales (CFT) en piel-pepita ( $\text{mg/kg Uva}$ ), utilizando el método propuesto por Failla et al. (2012) y Rustioni et al. (2014).

El resto de bayas de la muestra inicial (320 bayas) fueron trituradas sin romper la semilla y centrifugadas. El grado Baumé (OIV-MA-AS2-02), la acidez total (OIV-MA-AS313-01), el pH (OIV-MA-AS313-15), el ácido tartárico (método Rebelein modificado, García-Barceló, 1990) y el ácido málico (OIV-MA-AS313-11) se analizaron en el mosto obtenido por centrifugación siguiendo los protocolos descritos en Fernández-Fernández et al. (2020b).

## 8. Análisis estadístico

Los datos se compararon estadísticamente mediante el análisis de varianza (ANOVA de tres vías), usando como factores el genotipo, tratamiento de riego y año. Las medias se separaron mediante la prueba de rango múltiple de Duncan ( $p < 0,05$ ). Las correlaciones se estudiaron con el coeficiente de correlación de Spearman, entre cada par de variables, con un nivel de confianza del 95%. Todos los análisis se realizaron empleando el software StatGraphics Centurion XVI versión 16.1.18.



## IV. Resultados



## 1. Preselección de genotipos. Campaña 2018

### 1.1. Parámetros climáticos

Las variables meteorológicas registradas durante 2018 se recogen en la Tabla 7. El valor más alto de la evapotranspiración de referencia ( $ET_0$ ) se acumuló en el periodo de floración y cuajado del fruto (mayo-julio), con un valor de 383 mm, frente al valor más bajo de 74 mm que se dio durante el envero (julio-agosto). La precipitación total acumulada (PREC) fue de 392,6 mm, destacando que el periodo más escaso de precipitaciones se produjo durante el envero, con precipitaciones acumuladas de solo 0,40 mm, valor muy inferior a los acumulados en el resto de periodos fenológicos. Por el contrario, es durante el envero cuando se observaron los valores medios más altos de las temperaturas máxima ( $T_{MAX} = 34,8$  °C), media ( $T_{MED} = 26,5$  °C) y mínima ( $T_{MIN} = 16,6$  °C) del aire, así como del déficit de presión de vapor (DPV = 2,20 KPa). Los valores más altos de la radiación acumulada ( $RAD_{ACU} = 1775$  MJ/m<sup>2</sup>) y radiación media ( $RAD_{MED} = 307$  W/m<sup>2</sup>) se dieron durante la floración y cuajado del fruto, mientras que la radiación máxima se produjo desde el periodo de brotación hasta el inicio de la floración ( $RAD_{MAX} = 1126$  W/m<sup>2</sup>) (Tabla 7). Las condiciones meteorológicas más estresantes se registraron durante el periodo que abarca desde el envero hasta la vendimia.

Tabla 7. Variables meteorológicas registradas en 2018 durante diferentes estados fenológicos.

Periodos fenológicos	Periodo año	$ET_0$ (mm)	PREC (mm)	DPV (KPa)	$T_{MAX}$ (°C)	$T_{MED}$ (°C)	$T_{MIN}$ (°C)	$RAD_{ACU}$ (MJ/m <sup>2</sup> )	$RAD_{MAX}$ (W/m <sup>2</sup> )	$RAD_{MED}$ (W/m <sup>2</sup> )
Brotación-Floración	7 abril-22 mayo	186	55,5	0,87	21,6	14,6	6,8	1014	1126	259
Floración-Cuajado-Envero	23 mayo-29 julio	383	41,3	1,69	30,3	22,6	13,3	1775	1067	307
Envero-Vendimia	30 julio-11 ago	74	0,4	2,20	34,8	26,5	16,6	313	976	283
Vendimia-Poscosecha	12 ago-2 oct	195	62,1	1,16	29,6	22,4	15,6	948	938	215
Poscosecha-Dormición	3 oct-12 dic	105	122,0	0,49	19,2	11,6	5,4	737	658	122
Dormición	13 dic-6 abril	220	111,3	0,51	15,6	8,1	1,3	1418	747	145
<b>Año</b>		<b>1162</b>	<b>392,6</b>	<b>0,92</b>	<b>22,5</b>	<b>15,0</b>	<b>7,6</b>	<b>6204</b>	<b>873</b>	<b>200</b>

Valores acumulativos: Evapotranspiración de referencia ( $ET_0$ , mm); Precipitaciones (PREC, mm); Radiación acumulada ( $RAD_{ACU}$ , MJ/m<sup>2</sup>). Valores medios: Déficit de presión de vapor (DPV, KPa); Temperatura diaria del aire máxima ( $T_{MAX}$ , °C), media ( $T_{MED}$ , °C) y mínima ( $T_{MIN}$ , °C); Radiación máxima ( $RAD_{MAX}$ , W/m<sup>2</sup>) y media ( $RAD_{MED}$ , W/m<sup>2</sup>).

### 1.2. Estados fenológicos

En la Tabla 8 se muestran las fechas de brotación, floración, envero y vendimia para cada uno de los 11 genotipos estudiados y los tratamientos de riego aplicados (ver Material y Métodos). En general, en todos los estados fenológicos se observó una variación significativa entre genotipos dentro de un mismo tratamiento de riego (Tabla 8). Sin embargo, para un mismo genotipo no se observaron diferencias significativas entre RDC y secano

ni en brotación ni en floración; en condiciones de secano, respecto de RDC, solo dos genotipos (MC38 y MC59) enveraron significativamente más tarde; 4 genotipos (MC19, MC38, MC49 y MC56) se vendimiaron significativamente más tarde; y 5 genotipos (MC16, MC72, MC84, MS49 y MS104) se vendimiaron significativamente más temprano (Tabla 8). El genotipo que más retrasó su vendimia en secano fue MC19, con un retraso de 43 días, mientras que MS49 adelantó 11 días su vendimia en secano.

**Tabla 8. Etapas fenológicas de 11 genotipos cultivados bajo riego deficitario controlado (RDC) y secano en 2018.**

Genotipo	Brotación		Floración		Envero		Vendimia	
	RDC	Secano	RDC	Secano	RDC	Secano	RDC	Secano
MC16	7-abr. <sup>ab</sup> $\alpha$	8-abr. <sup>a</sup> $\alpha$	23-may. <sup>a</sup> $\alpha$	26-may. <sup>ab</sup> $\alpha$	6-ago. <sup>cd</sup> $\alpha$	10-ago. <sup>bc</sup> $\alpha$	24-sep. <sup>f</sup> $\beta$	20-sep. <sup>f</sup> $\alpha$
MC19	13-abr. <sup>def</sup> $\alpha$	16-abr. <sup>b</sup> $\alpha$	28-may. <sup>d</sup> $\alpha$	27-may. <sup>ab</sup> $\alpha$	3-ago. <sup>bc</sup> $\alpha$	5-ago. <sup>abc</sup> $\alpha$	12-ago. <sup>a</sup> $\alpha$	24-sep. <sup>g</sup> $\beta$
MC38	5-abr. <sup>a</sup> $\alpha$	8-abr. <sup>a</sup> $\alpha$	24-may. <sup>ab</sup> $\alpha$	24-may. <sup>a</sup> $\alpha$	7-ago. <sup>d</sup> $\alpha$	12-ago. <sup>c</sup> $\beta$	30-ago. <sup>b</sup> $\alpha$	3-sep. <sup>b</sup> $\beta$
MC49	16-abr. <sup>f</sup> $\alpha$	16-abr. <sup>b</sup> $\alpha$	25-may. <sup>abc</sup> $\alpha$	26-may. <sup>ab</sup> $\alpha$	12-ago. <sup>e</sup> $\alpha$	12-ago. <sup>c</sup> $\alpha$	3-sep. <sup>c</sup> $\alpha$	6-sep. <sup>d</sup> $\beta$
MC56	15-abr. <sup>ef</sup> $\alpha$	13-abr. <sup>ab</sup> $\alpha$	27-may. <sup>cd</sup> $\alpha$	25-may. <sup>ab</sup> $\alpha$	12-ago. <sup>e</sup> $\alpha$	12-ago. <sup>c</sup> $\alpha$	24-sep. <sup>f</sup> $\alpha$	26-sep. <sup>h</sup> $\beta$
MC59	11-abr. <sup>cd</sup> $\alpha$	13-abr. <sup>ab</sup> $\alpha$	27-may. <sup>cd</sup> $\alpha$	26-may. <sup>ab</sup> $\alpha$	7-ago. <sup>d</sup> $\alpha$	12-ago. <sup>c</sup> $\beta$	2-oct. <sup>g</sup> $\alpha$	2-oct. <sup>i</sup> $\alpha$
MC72	11-abr. <sup>cd</sup> $\alpha$	8-abr. <sup>a</sup> $\alpha$	27-may. <sup>cd</sup> $\alpha$	25-may. <sup>a</sup> $\alpha$	31-jul. <sup>ab</sup> $\alpha$	1-ago. <sup>a</sup> $\alpha$	30-ago. <sup>b</sup> $\beta$	28-ago. <sup>a</sup> $\alpha$
MC80	15-abr. <sup>ef</sup> $\alpha$	14-abr. <sup>b</sup> $\alpha$	28-may. <sup>d</sup> $\alpha$	29-may. <sup>b</sup> $\alpha$	8-ago. <sup>d</sup> $\alpha$	10-ago. <sup>bc</sup> $\alpha$	2-oct. <sup>g</sup> $\alpha$	2-oct. <sup>i</sup> $\alpha$
MC84	16-abr. <sup>f</sup> $\alpha$	16-abr. <sup>b</sup> $\alpha$	26-may. <sup>bcd</sup> $\alpha$	27-may. <sup>ab</sup> $\alpha$	1-ago. <sup>ab</sup> $\alpha$	5-ago. <sup>abc</sup> $\alpha$	30-ago. <sup>b</sup> $\beta$	28-ago. <sup>a</sup> $\alpha$
MS49	9-abr. <sup>bc</sup> $\alpha$	8-abr. <sup>a</sup> $\alpha$	27-may. <sup>cd</sup> $\alpha$	26-may. <sup>ab</sup> $\alpha$	5-ago. <sup>cd</sup> $\alpha$	9-ago. <sup>bc</sup> $\alpha$	20-sep. <sup>e</sup> $\beta$	10-sep. <sup>e</sup> $\alpha$
MS104	12-abr. <sup>cde</sup> $\alpha$	13-abr. <sup>ab</sup> $\alpha$	29-may. <sup>d</sup> $\alpha$	27-may. <sup>ab</sup> $\alpha$	31-jul. <sup>a</sup> $\alpha$	4-ago. <sup>ab</sup> $\alpha$	6-sep. <sup>d</sup> $\beta$	4-sep. <sup>c</sup> $\alpha$
<b>Riego</b>	<b>12-abr. <sup>\alpha</sup></b>	<b>12-abr. <sup>\alpha</sup></b>	<b>27-may. <sup>\alpha</sup></b>	<b>26-may. <sup>\alpha</sup></b>	<b>5-ago. <sup>\alpha</sup></b>	<b>8-ago. <sup>\alpha</sup></b>	<b>10-sep. <sup>\alpha</sup></b>	<b>13-sep. <sup>\alpha</sup></b>

En la tabla figuran además las diferencias estadísticamente significativas entre genotipos dentro de un mismo tratamiento de riego (a-i) y entre tratamientos de riego para un mismo genotipo ( $\alpha$ ,  $\beta$ ), según la prueba de rango múltiple de Duncan ( $p < 0,05$ ).

La duración media del periodo fenológico total, considerado desde la fecha de brotación hasta la vendimia, fue ligeramente inferior en RDC (valor medio de 151 días) respecto a secano (valor medio de 154 días). Los genotipos MC16, MC56, MC59, MC80 y MS49 presentaron una duración superior a la media tanto en RDC como en secano, mientras que los genotipos MC38, MC49, MC72, MC84 y MS104 mostraron una duración inferior a la media tanto en RDC como en secano (Tabla 8). El genotipo MC59 presentó la mayor duración del periodo fenológico total, tanto en RDC (174 días) como en secano (172 días), frente a la duración más corta en RDC de MC19 (121 días) y en secano de MC84 (134 días). Si comparamos la duración del periodo fenológico total entre RDC y secano, MC19 presentó una duración mucho mayor en secano, con una diferencia de 40 días entre RDC y secano.

Considerando el periodo de maduración desde la fecha de envero hasta la vendimia, y teniendo en cuenta la importancia de un periodo de maduración largo para adaptarse a condiciones climáticas de altas temperaturas, como las que se dan en la Región de Murcia, cabe destacar que el genotipo MC59 presentó el periodo de maduración más largo en RDC (56 días) y el genotipo MC80 en secano (53 días). De nuevo, MC19 prolongó 41 días su periodo de maduración en secano, respecto a RDC, frente a MS49 que lo acortó 14 días.

Los genotipos más tempranos para la vendimia fueron MC19 en RDC (12 de agosto) y MC72 y MC84 en secano (28 de agosto), mientras que los más tardíos fueron MC59 y MC80 (2 de octubre) tanto en RDC como en secano (Tabla 8).

### 1.3. Parámetros fisiológicos

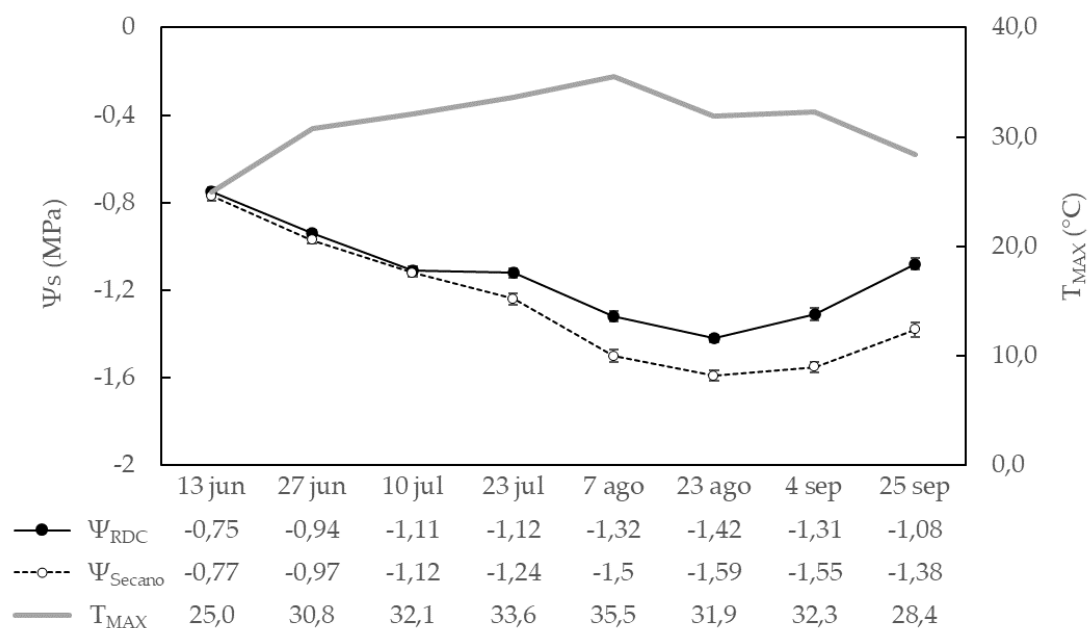
Durante el primer año de estudio (2018), se evaluó el estado hídrico y el intercambio gaseoso (ver Material y Métodos) de los 11 genotipos nuevos con el fin de identificar aquellos que toleran mejor la sequía bajo las condiciones semiáridas de la Región de Murcia. Se tomaron quincenalmente 8 medidas para el potencial hídrico del tallo ( $\Psi_s$ ), la conductancia estomática ( $g_s$ ), la tasa fotosintética ( $A_N$ ) y la eficiencia intrínseca del uso del agua ( $A_N/g_s$ ), desde el 13 de junio hasta el 25 de septiembre (Anexo 3). Además, estas medidas se utilizaron para calcular el valor medio de los distintos parámetros fisiológicos en los correspondientes periodos fenológicos: floración y cuajado, envero y vendimia.

#### 1.3.1. Potencial hídrico

En la Figura 1 se representa la evolución del  $\Psi_s$  en RDC y secano durante 2018, teniendo en cuenta el valor medio del  $\Psi_s$  de los 11 genotipos evaluados para cada fecha. También se muestran las temperaturas medias máximas del aire correspondientes al periodo anterior al de la fecha en la que se realizó la medida del  $\Psi_s$ . En el caso de la primera medida, se estimó la temperatura máxima media de los 15 días previos. A la vista de estos datos, el máximo estrés hídrico se produjo a finales de agosto (23 agosto) tanto en condiciones de RDC (valor medio del  $\Psi_s = -1,42$  MPa) como en condiciones de secano (valor medio del  $\Psi_s = -1,59$  MPa), coincidiendo con el fin del envero y el inicio de la vendimia. Tras este punto de máximo estrés hídrico, se apreció una recuperación del valor medio del  $\Psi_s$  en RDC y secano (Figura 1; Anexo 3) gracias a los riegos de apoyo aplicados el 12 y 30 de agosto (8,7 mm), a las precipitaciones caídas entre el 4 y el 25 de septiembre (50,4 mm) y a la disminución de la temperatura del aire.

Los valores obtenidos en 2018 para el  $\Psi_s$  se muestran en la Tabla 9. Durante el periodo de floración y cuajado del fruto no se observaron diferencias estadísticamente significativas para el  $\Psi_s$  ni entre genotipos ni entre tratamientos de riego. Siguiendo la clasificación descrita por diferentes autores, recogida en Material y Métodos, y teniendo en cuenta el valor medio del  $\Psi_s$  (-0,98 MPa en RDC; -1,02 MPa en secano), durante este periodo no se produjo estrés hídrico en RDC ( $\Psi_s > -1,0$  MPa) y solo se apreció un ligero estrés hídrico medio en secano ( $\Psi_s$  entre -1,0 a -1,2 MPa). El estrés hídrico aumentó durante el envero, pasando a un estrés moderado ( $\Psi_s$  entre -1,2 y -1,4 MPa) en RDC ( $\Psi_s = -1,32$  MPa) y a un estrés severo ( $\Psi_s < -1,4$  MPa) en secano ( $\Psi_s = -1,50$  MPa). En este periodo sí se observaron diferencias significativas entre genotipos y tratamientos de riego.

Así, en condiciones de RDC, el  $\Psi_s$  osciló entre -1,15 MPa de MC80 (estrés hídrico medio) y -1,50 MPa de MS104 (estrés hídrico severo). Por otro lado, en secano el  $\Psi_s$  osciló entre -1,25 MPa de MC49 (estrés hídrico moderado) y -1,72 MPa de MC19 (estrés hídrico muy severo). Las mayores diferencias significativas entre tratamientos se dieron en MC56, que pasó de un estrés hídrico medio en RDC ( $\Psi_s = -1,17$  MPa) a un estrés severo en secano ( $\Psi_s = -1,55$  MPa). Por el contrario, MC49 mantuvo un estrés hídrico moderado en RDC ( $\Psi_s = -1,27$  MPa) y secano ( $\Psi_s = -1,25$  MPa).



**Figura 1. Evolución del potencial hídrico en 2018 basado en el valor medio de 11 genotipos.**

RDC, riego deficitario controlado;  $T_{MAX}$ , media de la temperatura máxima del aire. Las barras verticales representan el error estándar.

En vendimia, se mantuvo de media un estrés hídrico moderado en RDC ( $\Psi_s = -1,27$  MPa) y un estrés severo en secano ( $\Psi_s = -1,51$  MPa), con diferencias significativas entre genotipos y entre tratamientos de riego (Tabla 9). En condiciones de RDC, el  $\Psi_s$  osciló entre -1,15 MPa de MC72 (estrés hídrico medio) y -1,38 MPa de MC59 (estrés hídrico moderado). Por otro lado, en secano el  $\Psi_s$  osciló entre -1,39 MPa de MS104 (estrés hídrico moderado) y -1,63 MPa de MC56 (estrés hídrico severo). Las mayores diferencias significativas entre tratamientos de riego se dieron en MC19 y MC56, que pasaron de un estrés hídrico moderado en RDC a un estrés severo en secano, junto con MC72 que pasó de un estrés medio en RDC a un estrés severo en secano (Tabla 9). Por el contrario, MS104 mantuvo un estrés hídrico moderado en RDC ( $\Psi_s = -1,33$  MPa) y en secano ( $\Psi_s = -1,39$  MPa). Si comparamos los valores del  $\Psi_s$  entre invierno y vendimia, encontramos genotipos que mantuvieron el mismo nivel de estrés hídrico en invierno y vendimia, otros que incrementaron el nivel de estrés en vendimia y otros que redujeron su nivel de estrés en vendimia (Tabla 9). Algunos de ellos mantuvieron estos comportamientos tanto en RDC como en secano: MS49 mantuvo su nivel de estrés hídrico en vendimia; MC56 y MC80

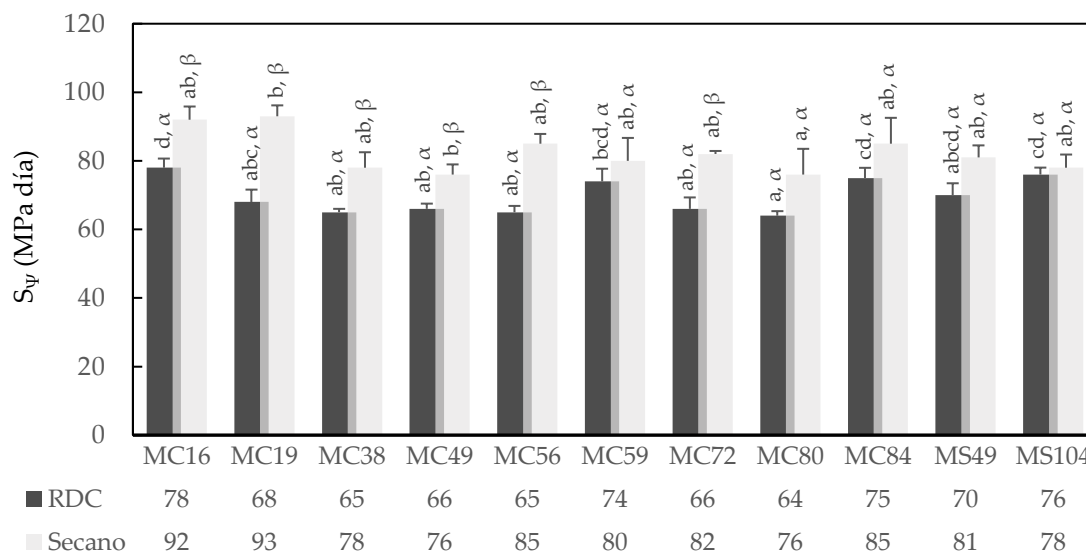
incrementaron su nivel de estrés en vendimia; MC16 y MS104 disminuyeron su nivel de estrés hídrico en vendimia, es decir, recuperaron su  $\Psi_s$ .

Tabla 9. Potencial hídrico y parámetros del intercambio gaseoso registrados en 2018.

Genotipo	$\Psi_s$ (MPa)		$g_s$ (mol H <sub>2</sub> O m <sup>-2</sup> s <sup>-1</sup> )		$A_N$ (μmol CO <sub>2</sub> m <sup>-2</sup> s <sup>-1</sup> )		$A_N/g_s$ (μmol CO <sub>2</sub> mol H <sub>2</sub> O <sup>-1</sup> )		
	RDC	Secano	RDC	Secano	RDC	Secano	RDC	Secano	
Floración - Cujado	MC16	-1,05 <sup>a</sup> α	-1,13 <sup>a</sup> α	0,098 <sup>a</sup> α	0,095 <sup>ab</sup> α	12,71 <sup>a</sup> α	12,01 <sup>a</sup> α	135 <sup>ab</sup> α	134 <sup>ab</sup> α
	MC19	-0,96 <sup>a</sup> α	-1,08 <sup>a</sup> α	0,092 <sup>a</sup> β	0,061 <sup>a</sup> α	11,52 <sup>a</sup> α	9,00 <sup>a</sup> α	131 <sup>ab</sup> α	150 <sup>b</sup> α
	MC38	-0,99 <sup>a</sup> α	-0,99 <sup>a</sup> α	0,119 <sup>a</sup> α	0,107 <sup>ab</sup> α	13,66 <sup>a</sup> α	11,80 <sup>a</sup> α	124 <sup>ab</sup> α	126 <sup>ab</sup> α
	MC49	-0,93 <sup>a</sup> α	-0,99 <sup>a</sup> α	0,114 <sup>a</sup> α	0,110 <sup>ab</sup> α	13,41 <sup>a</sup> α	12,16 <sup>a</sup> α	123 <sup>ab</sup> α	122 <sup>a</sup> α
	MC56	-0,96 <sup>a</sup> α	-1,00 <sup>a</sup> α	0,111 <sup>a</sup> α	0,079 <sup>ab</sup> α	12,33 <sup>a</sup> α	10,52 <sup>a</sup> α	118 <sup>a</sup> α	128 <sup>ab</sup> α
	MC59	-0,96 <sup>a</sup> α	-1,04 <sup>a</sup> α	0,105 <sup>a</sup> α	0,086 <sup>ab</sup> α	12,03 <sup>a</sup> α	10,40 <sup>a</sup> α	117 <sup>a</sup> α	123 <sup>a</sup> α
	MC72	-0,99 <sup>a</sup> α	-1,02 <sup>a</sup> α	0,120 <sup>a</sup> α	0,092 <sup>ab</sup> α	13,95 <sup>a</sup> α	12,00 <sup>a</sup> α	122 <sup>ab</sup> α	129 <sup>ab</sup> α
	MC80	-0,93 <sup>a</sup> α	-0,96 <sup>a</sup> α	0,108 <sup>a</sup> α	0,092 <sup>ab</sup> α	12,70 <sup>a</sup> α	11,81 <sup>a</sup> α	122 <sup>ab</sup> α	128 <sup>ab</sup> α
	MC84	-1,06 <sup>a</sup> α	-1,06 <sup>a</sup> α	0,128 <sup>a</sup> α	0,116 <sup>b</sup> α	14,55 <sup>a</sup> α	13,95 <sup>a</sup> α	120 <sup>a</sup> α	126 <sup>ab</sup> α
	MS49	-0,94 <sup>a</sup> α	-0,98 <sup>a</sup> α	0,107 <sup>a</sup> α	0,070 <sup>ab</sup> α	13,46 <sup>a</sup> α	10,01 <sup>a</sup> α	133 <sup>ab</sup> α	134 <sup>ab</sup> α
	MS104	-1,02 <sup>a</sup> α	-1,02 <sup>a</sup> α	0,095 <sup>a</sup> α	0,099 <sup>ab</sup> α	12,94 <sup>a</sup> α	14,32 <sup>a</sup> α	141 <sup>b</sup> α	145 <sup>b</sup> α
	<b>Riego</b>	<b>-0,98<sup>β</sup></b>	<b>-1,02<sup>α</sup></b>	<b>0,109<sup>β</sup></b>	<b>0,092<sup>α</sup></b>	<b>13,02<sup>β</sup></b>	<b>11,64<sup>α</sup></b>	<b>126<sup>α</sup></b>	<b>131<sup>α</sup></b>
Envero	MC16	-1,42 <sup>abc</sup> β	-1,65 <sup>ab</sup> α	0,096 <sup>a</sup> α	0,045 <sup>ab</sup> α	10,18 <sup>a</sup> α	6,87 <sup>ab</sup> α	109 <sup>a</sup> α	161 <sup>a</sup> β
	MC19	-1,42 <sup>abc</sup> β	-1,72 <sup>a</sup> α	0,051 <sup>a</sup> α	0,039 <sup>ab</sup> α	6,75 <sup>a</sup> α	4,89 <sup>ab</sup> α	135 <sup>a</sup> α	126 <sup>a</sup> α
	MC38	-1,25 <sup>de</sup> α	-1,55 <sup>abcd</sup> α	0,079 <sup>a</sup> α	0,032 <sup>a</sup> α	8,32 <sup>a</sup> α	4,68 <sup>ab</sup> α	120 <sup>a</sup> α	150 <sup>a</sup> α
	MC49	-1,27 <sup>cde</sup> α	-1,25 <sup>e</sup> α	0,072 <sup>a</sup> α	0,077 <sup>b</sup> α	7,91 <sup>a</sup> α	8,91 <sup>b</sup> α	118 <sup>a</sup> α	114 <sup>a</sup> α
	MC56	-1,17 <sup>e</sup> β	-1,55 <sup>abcd</sup> α	0,062 <sup>a</sup> α	0,045 <sup>ab</sup> α	7,64 <sup>a</sup> α	5,59 <sup>ab</sup> α	124 <sup>a</sup> α	129 <sup>a</sup> α
	MC59	-1,40 <sup>abcd</sup> α	-1,47 <sup>bcde</sup> α	0,059 <sup>a</sup> α	0,056 <sup>ab</sup> α	7,00 <sup>a</sup> α	6,55 <sup>ab</sup> α	111 <sup>a</sup> α	116 <sup>a</sup> α
	MC72	-1,30 <sup>bcde</sup> β	-1,55 <sup>abcd</sup> α	0,059 <sup>a</sup> α	0,026 <sup>a</sup> α	7,80 <sup>a</sup> α	3,38 <sup>a</sup> α	135 <sup>a</sup> α	127 <sup>a</sup> α
	MC80	-1,15 <sup>e</sup> α	-1,35 <sup>de</sup> α	0,048 <sup>a</sup> α	0,040 <sup>ab</sup> α	6,56 <sup>a</sup> α	5,32 <sup>ab</sup> α	134 <sup>a</sup> α	131 <sup>a</sup> α
	MC84	-1,43 <sup>ab</sup> α	-1,58 <sup>abc</sup> α	0,090 <sup>a</sup> α	0,064 <sup>ab</sup> α	10,67 <sup>a</sup> α	8,14 <sup>ab</sup> α	120 <sup>a</sup> α	132 <sup>a</sup> α
	MS49	-1,27 <sup>cde</sup> β	-1,42 <sup>cde</sup> α	0,062 <sup>a</sup> α	0,044 <sup>ab</sup> α	6,29 <sup>a</sup> α	6,18 <sup>ab</sup> α	91 <sup>a</sup> α	137 <sup>a</sup> α
	MS104	-1,50 <sup>a</sup> α	-1,47 <sup>bcde</sup> α	0,052 <sup>a</sup> α	0,045 <sup>ab</sup> α	6,66 <sup>a</sup> α	6,74 <sup>ab</sup> α	132 <sup>a</sup> α	155 <sup>a</sup> α
	<b>Riego</b>	<b>-1,32<sup>β</sup></b>	<b>-1,50<sup>α</sup></b>	<b>0,066<sup>β</sup></b>	<b>0,047<sup>α</sup></b>	<b>7,80<sup>β</sup></b>	<b>6,11<sup>α</sup></b>	<b>121<sup>α</sup></b>	<b>134<sup>β</sup></b>
Vendimia	MC16	-1,35 <sup>ab</sup> β	-1,55 <sup>abc</sup> α	0,109 <sup>bc</sup> β	0,058 <sup>abcd</sup> α	11,48 <sup>c</sup> β	6,75 <sup>abc</sup> α	107 <sup>abcd</sup> α	118 <sup>ab</sup> α
	MC19	-1,21 <sup>ab</sup> β	-1,61 <sup>ab</sup> α	0,070 <sup>a</sup> β	0,045 <sup>ab</sup> α	8,25 <sup>ab</sup> β	5,85 <sup>ab</sup> α	119 <sup>d</sup> α	130 <sup>b</sup> α
	MC38	-1,17 <sup>b</sup> β	-1,43 <sup>bc</sup> α	0,117 <sup>c</sup> β	0,071 <sup>bcd</sup> α	10,76 <sup>abc</sup> α	8,06 <sup>bc</sup> α	98 <sup>ab</sup> α	114 <sup>ab</sup> α
	MC49	-1,27 <sup>ab</sup> β	-1,49 <sup>abc</sup> α	0,111 <sup>c</sup> β	0,080 <sup>d</sup> α	11,23 <sup>bc</sup> α	8,80 <sup>c</sup> α	105 <sup>abcd</sup> α	112 <sup>ab</sup> α
	MC56	-1,24 <sup>ab</sup> β	-1,63 <sup>a</sup> α	0,108 <sup>bc</sup> β	0,048 <sup>abc</sup> α	10,66 <sup>abc</sup> β	5,63 <sup>ab</sup> α	102 <sup>abc</sup> α	113 <sup>ab</sup> α
	MC59	-1,38 <sup>a</sup> α	-1,46 <sup>abc</sup> α	0,094 <sup>abc</sup> α	0,069 <sup>bcd</sup> α	9,87 <sup>abc</sup> β	6,44 <sup>abc</sup> α	106 <sup>abcd</sup> α	94 <sup>a</sup> α
	MC72	-1,15 <sup>b</sup> β	-1,49 <sup>abc</sup> α	0,103 <sup>abc</sup> β	0,039 <sup>a</sup> α	10,59 <sup>abc</sup> β	4,93 <sup>a</sup> α	106 <sup>abcd</sup> α	128 <sup>b</sup> β
	MC80	-1,32 <sup>ab</sup> α	-1,48 <sup>abc</sup> α	0,071 <sup>ab</sup> α	0,075 <sup>cd</sup> α	7,80 <sup>a</sup> α	7,95 <sup>bc</sup> α	112 <sup>bcd</sup> α	117 <sup>ab</sup> α
	MC84	-1,23 <sup>ab</sup> β	-1,51 <sup>abc</sup> α	0,107 <sup>abc</sup> β	0,065 <sup>abcd</sup> α	10,79 <sup>abc</sup> β	7,96 <sup>bc</sup> α	103 <sup>abc</sup> α	122 <sup>b</sup> β
	MS49	-1,35 <sup>ab</sup> β	-1,58 <sup>abc</sup> α	0,090 <sup>abc</sup> β	0,045 <sup>ab</sup> α	8,62 <sup>abc</sup> α	5,43 <sup>ab</sup> α	97 <sup>a</sup> α	121 <sup>b</sup> β
	MS104	-1,33 <sup>ab</sup> α	-1,39 <sup>c</sup> α	0,085 <sup>abc</sup> α	0,066 <sup>abcd</sup> α	9,61 <sup>abc</sup> α	7,02 <sup>abc</sup> α	115 <sup>cd</sup> α	108 <sup>ab</sup> α
	<b>Riego</b>	<b>-1,27<sup>β</sup></b>	<b>-1,51<sup>α</sup></b>	<b>0,097<sup>β</sup></b>	<b>0,060<sup>α</sup></b>	<b>9,97<sup>β</sup></b>	<b>6,80<sup>α</sup></b>	<b>106<sup>α</sup></b>	<b>116<sup>β</sup></b>

En la Tabla figuran para cada periodo fenológico, genotipo y tratamiento de riego (RDC, riego deficitario controlado; secano) los valores del potencial hídrico ( $\Psi_s$ ), conductancia estomática ( $g_s$ ), tasa fotosintética ( $A_N$ ), y eficiencia intrínseca del uso del agua ( $A_N/g_s$ ). Separación de medias realizadas con el test de rangos múltiples de Duncan. Para cada periodo fenológico y genotipo, diferentes letras en la misma columna (a-e) indican diferencias significativas entre genotipos ( $p < 0,05$ ). Para cada parámetro fisiológico, diferentes letras en la misma fila ( $\alpha, \beta$ ) indican diferencias significativas entre tratamientos de riego (prueba de rangos múltiples de Duncan,  $p < 0,05$ ).

El efecto acumulativo del estrés hídrico en 2018, calculado como la integral de estrés hídrico ( $S_{\psi}$ ) (ver Material y Métodos), mostró diferencias estadísticamente significativas entre genotipos y entre tratamientos de riego, con un valor promedio de 82 MPa día en seco frente a un valor de 70 MPa día en condiciones de RDC (Figura 2).



**Figura 2. Valores de la integral de estrés hídrico anual ( $S_{\psi}$ ) para cada genotipo y tratamiento de riego en 2018.**

Figuran para cada genotipo y tratamiento de riego (RDC, riego deficitario controlado; seco) los valores de la integral de estrés hídrico ( $S_{\psi}$ ). Las barras verticales representan el error estándar. Para cada tratamiento de riego, diferentes letras (a-d) indica diferencias significativas entre genotipos (prueba de rangos múltiples de Duncan,  $p < 0,05$ ). Para cada genotipo, diferentes letras ( $\alpha$ ,  $\beta$ ) indican diferencias significativas entre tratamientos de riego (prueba de rangos múltiples de Duncan,  $p < 0,05$ ).

Teniendo en cuenta las diferencias de la  $S_{\psi}$  entre tratamientos de riego, los genotipos se pueden clasificar en dos grupos: (1) no afectados significativamente por las condiciones de riego (MS104, MC59, MC84, MS49 y MC80, ordenados de menos a más afectados); (2) afectados significativamente por las condiciones de riego (MC19, MC56, MC72, MC16, MC38 y MC49, ordenados de más a menos afectados). Los genotipos que mayor estrés hídrico acumularon, en ambos tratamientos de riego, con valores de la  $S_{\psi}$  superiores al de la media fueron MC16 y MC84; por otro lado, los genotipos que menor estrés hídrico acumularon en ambos tratamientos de riego, con valores de la  $S_{\psi}$  inferiores al de la media fueron MC38, MC49, MC72 y MC80 (Figura 2).

### 1.3.2. Intercambio gaseoso

Los valores obtenidos en 2018 para la conductancia estomática ( $g_s$ ), la tasa fotosintética neta ( $A_N$ ), y la eficiencia intrínseca del uso del agua ( $A_N/g_s$ ) se muestran en la Tabla 9.



*Conductancia estomática (g<sub>s</sub>)*

Durante el periodo de floración y cuajado, no se observaron diferencias significativas entre genotipos en RDC pero sí en seco, y sí se dieron diferencias significativas en el valor medio entre tratamientos de riego (Tabla 9), siendo la g<sub>s</sub> un 16% superior en RDC (0,109 mol H<sub>2</sub>O m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup>) que en seco (0,092 mol H<sub>2</sub>O m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup>). Con estos valores, atendiendo a la clasificación propuesta en Material y Métodos, en RDC y seco se produjo un estrés fuerte (g<sub>s</sub> entre 0,120 y 0,050 mol H<sub>2</sub>O m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup>). La g<sub>s</sub> media disminuyó en el periodo de envero, respecto a los valores durante floración y cuajado, hasta un 39% en RDC (alcanzando 0,066 mol H<sub>2</sub>O m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup>) y un 49% en seco (alcanzando 0,047 mol H<sub>2</sub>O m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup>), por lo que se mantuvo un estrés fuerte en RDC y se pasó a un estrés severo en seco (g<sub>s</sub> < 0,050 mol H<sub>2</sub>O m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup>). Durante el envero, no se observaron diferencias significativas entre genotipos en RDC, pero sí en seco donde la g<sub>s</sub> más baja la alcanzó MC72 (0,026 mol H<sub>2</sub>O m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup>) que presentó un estrés severo, y la más alta MC49 (0,077 mol H<sub>2</sub>O m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup>) que presentó un estrés fuerte. De nuevo, se observaron diferencias significativas entre los valores medios de g<sub>s</sub> entre RDC y seco, siendo un 29% superior el valor medio en RDC (Tabla 9).

Durante la vendimia, los valores medios de g<sub>s</sub> subieron respecto a los valores alcanzados durante el envero, hasta un 47% en RDC (alcanzando 0,097 mol H<sub>2</sub>O m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup>) y un 28% en seco (alcanzando 0,060 mol H<sub>2</sub>O m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup>), por lo que se mantuvo un estrés fuerte en RDC y se pasó en seco de un estrés severo en envero a un estrés fuerte en vendimia. En este periodo se observaron diferencias significativas entre genotipos y entre tratamientos de riego (Tabla 9). En RDC, todos los valores estuvieron dentro del rango de estrés fuerte, oscilando entre los 0,070 mol H<sub>2</sub>O m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup> de MC19 y los 0,117 mol H<sub>2</sub>O m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup> de MC38. En seco, los valores oscilaron entre los 0,039 mol H<sub>2</sub>O m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup> de MC72 (estrés severo) y los 0,080 mol H<sub>2</sub>O m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup> de MC49 (estrés fuerte). Si comparamos los valores medios de g<sub>s</sub> entre RDC y seco, se observaron diferencias significativas entre tratamientos, con un valor superior en RDC del 38%.

*Tasa fotosintética neta (A<sub>N</sub>)*

Durante el periodo de floración y cuajado, no se observaron diferencias significativas entre genotipos y sí en el valor medio entre tratamientos de riego (Tabla 9), siendo la A<sub>N</sub> media significativamente superior un 11% en RDC (13,02 μmol CO<sub>2</sub> m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup>) respecto a seco (11,64 μmol CO<sub>2</sub> m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup>). Con estos valores, atendiendo a la clasificación propuesta en Material y Métodos, en RDC no se produjo estrés (A<sub>N</sub> > 12 μmol CO<sub>2</sub> m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup>) y en seco se produjo un estrés moderado (A<sub>N</sub> entre 12 - 10 μmol CO<sub>2</sub> m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup>). La A<sub>N</sub> media disminuyó en el periodo de envero, respecto a los valores durante floración y cuajado, hasta un 40% en RDC (alcanzando 7,80 μmol CO<sub>2</sub> m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup>) y un 47% en seco (alcanzando 6,11 μmol CO<sub>2</sub> m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup>), por lo que se pasó a tener un estrés fuerte en ambas condiciones

de riego ( $A_N$  entre  $10\text{-}6 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ ). En invierno no se observaron diferencias significativas entre genotipos en RDC pero sí en seco, donde la tasa fotosintética neta más baja la alcanzó MC72 ( $3,38 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ ) que presentó un estrés severo ( $A_N < 6 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ ); la  $A_N$  más alta la alcanzó MC49 ( $8,91 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ ) que presentó un estrés fuerte. De nuevo, se observaron diferencias significativas entre los valores medios de la  $A_N$  entre RDC y seco, siendo un 22% superior el valor medio en RDC (Tabla 9).

Durante la vendimia, los valores medios de la  $A_N$  subieron respecto a los valores alcanzados durante el invierno, hasta un 28% en RDC (alcanzando  $9,97 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ ) y un 11% en seco (alcanzando  $6,80 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ ), por lo que se mantuvo en ambos casos un estrés fuerte. En este periodo se observaron diferencias significativas entre genotipos y entre tratamientos de riego (Tabla 9). Los valores en RDC oscilaron entre los  $7,80 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$  de MC80 (estrés fuerte) y los  $11,48 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$  de MC16 (estrés moderado). En seco, los valores oscilaron entre los  $4,93 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$  de MC72 (estrés severo) y los  $8,80 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$  de MC49 (estrés fuerte). Si comparamos los valores medios de  $A_N$  entre RDC y seco, se observaron diferencias significativas con un valor superior en RDC del 32%.

#### *Eficiencia intrínseca del uso del agua ( $A_N/g_s$ )*

Durante el periodo de floración y cuajado, se observaron diferencias significativas entre genotipos, pero no entre tratamientos de riego, aunque el valor medio en RDC ( $126 \mu\text{mol CO}_2 \text{ mol H}_2\text{O}^{-1}$ ) fue un 4% inferior al valor medio en seco ( $131 \mu\text{mol CO}_2 \text{ mol H}_2\text{O}^{-1}$ ). Con estos valores, atendiendo a la clasificación propuesta en Material y Métodos, la eficiencia media sería alta en RDC ( $A_N/g_s > 90 \mu\text{mol CO}_2 \text{ mol H}_2\text{O}^{-1}$ ) y en seco ( $A_N/g_s > 120 \mu\text{mol CO}_2 \text{ mol H}_2\text{O}^{-1}$ ). Si comparamos las diferencias entre genotipos, todos presentaron una eficiencia alta en RDC y en seco, oscilando los valores en RDC entre una  $A_N/g_s$  de  $117 \mu\text{mol CO}_2 \text{ mol H}_2\text{O}^{-1}$  de MC59 y de  $141 \mu\text{mol CO}_2 \text{ mol H}_2\text{O}^{-1}$  de MS104; y en seco entre una  $A_N/g_s$  de  $122 \mu\text{mol CO}_2 \text{ mol H}_2\text{O}^{-1}$  de MC49 y de  $145 \mu\text{mol CO}_2 \text{ mol H}_2\text{O}^{-1}$  de MS104 (Tabla 9). En invierno, los valores medios de la  $A_N/g_s$  se mantuvieron altos en ambas condiciones de riego, disminuyendo solo un 4% en RDC respecto a los valores durante floración y cuajado (alcanzando un valor de  $121 \mu\text{mol CO}_2 \text{ mol H}_2\text{O}^{-1}$ ), y aumentando en seco solo un 2% (alcanzando un valor de  $134 \mu\text{mol CO}_2 \text{ mol H}_2\text{O}^{-1}$ ). Durante este periodo no se observaron diferencias significativas entre genotipos ni en RDC ni en seco. Todos los genotipos presentaron una eficiencia alta excepto en seco MC49 ( $114 \mu\text{mol CO}_2 \text{ mol H}_2\text{O}^{-1}$ ) y MC59 ( $116 \mu\text{mol CO}_2 \text{ mol H}_2\text{O}^{-1}$ ), que presentaron ambos una eficiencia buena ( $A_N/g_s$  entre  $100$  y  $120 \mu\text{mol CO}_2 \text{ mol H}_2\text{O}^{-1}$ ). En este periodo de invierno, se observaron diferencias significativas de la  $A_N/g_s$  entre los valores medios en RDC y seco, siendo un 11% superior el valor medio en seco, respecto a RDC (Tabla 9).

Durante la vendimia, los valores medios de la  $A_N/g_s$  bajaron respecto a los valores alcanzados durante el envero, hasta un 12% en RDC (alcanzando el valor de  $106 \mu\text{mol CO}_2 \text{ mol H}_2\text{O}^{-1}$ ) y un 13% en secano (alcanzando el valor de  $116 \mu\text{mol CO}_2 \text{ mol H}_2\text{O}^{-1}$ ), por lo que se mantuvo una eficiencia alta en RDC y en secano se pasó a una eficiencia buena. En este periodo se observaron diferencias significativas entre genotipos y entre tratamientos de riego (Tabla 9). En RDC, todos los genotipos se mantuvieron con una eficiencia alta, oscilando entre la más baja de MS49 ( $97 \mu\text{mol CO}_2 \text{ mol H}_2\text{O}^{-1}$ ) y la más alta de MC19 ( $119 \mu\text{mol CO}_2 \text{ mol H}_2\text{O}^{-1}$ ). En secano, los valores oscilaron entre una  $A_N/g_s$  de  $94 \mu\text{mol CO}_2 \text{ mol H}_2\text{O}^{-1}$  de MC59, que indica una eficiencia baja ( $A_N/g_s < 100 \mu\text{mol CO}_2 \text{ mol H}_2\text{O}^{-1}$ ) y una  $A_N/g_s$  de  $130 \mu\text{mol CO}_2 \text{ mol H}_2\text{O}^{-1}$  de MC19, que indica una eficiencia alta. El valor medio se incrementó en secano un 9% respecto al valor medio en RDC (Tabla 9).

### 1.5. Parámetros de producción

En la Tabla 10 se muestran los valores obtenidos para el peso medio del racimo (g), número de racimos por planta, peso medio de la baya (g) y producción total ( $\text{Kg vid}^{-1}$ ) para cada uno de los genotipos y tratamientos de riego (ver Material y Métodos). En general, los valores de los parámetros de producción evaluados variaron significativamente entre genotipos y tratamientos de riego.

Tabla 10. Peso medio del racimo (g), número de racimos, peso medio de la baya (g) y producción total ( $\text{Kg vid}^{-1}$ ) en 2018.

Genotipo	Peso racimo (g)		Nº racimos		Peso baya (g)		Producción ( $\text{Kg vid}^{-1}$ )	
	RDC	Secano	RDC	Secano	RDC	Secano	RDC	Secano
MC16	131 <sup>cd</sup> $\alpha$	109 <sup>c</sup> $\alpha$	20 <sup>ab</sup> $\alpha$	20 <sup>a</sup> $\alpha$	0,97 <sup>abc</sup> $\alpha$	0,75 <sup>a</sup> $\alpha$	2,55 <sup>de</sup> $\alpha$	2,10 <sup>cd</sup> $\alpha$
MC19	89 <sup>ab</sup> $\beta$	63 <sup>a</sup> $\alpha$	22 <sup>abc</sup> $\alpha$	27 <sup>bc</sup> $\alpha$	1,17 <sup>bc</sup> $\alpha$	0,79 <sup>a</sup> $\alpha$	1,83 <sup>bc</sup> $\beta$	1,56 <sup>ab</sup> $\alpha$
MC38	82 <sup>ab</sup> $\alpha$	68 <sup>ab</sup> $\alpha$	26 <sup>cd</sup> $\alpha$	21 <sup>ab</sup> $\alpha$	0,87 <sup>abc</sup> $\beta$	0,73 <sup>a</sup> $\alpha$	2,11 <sup>bcd</sup> $\beta$	1,25 <sup>a</sup> $\alpha$
MC49	67 <sup>a</sup> $\alpha$	86 <sup>abc</sup> $\alpha$	19 <sup>a</sup> $\alpha$	23 <sup>abc</sup> $\alpha$	1,06 <sup>abc</sup> $\alpha$	0,83 <sup>a</sup> $\alpha$	1,21 <sup>a</sup> $\alpha$	1,82 <sup>bcd</sup> $\beta$
MC56	89 <sup>ab</sup> $\alpha$	69 <sup>ab</sup> $\alpha$	25 <sup>bcd</sup> $\alpha$	28 <sup>c</sup> $\alpha$	0,86 <sup>abc</sup> $\alpha$	0,66 <sup>a</sup> $\alpha$	2,23 <sup>bcd</sup> $\alpha$	1,96 <sup>bcd</sup> $\alpha$
MC59	98 <sup>abc</sup> $\beta$	59 <sup>a</sup> $\alpha$	25 <sup>abcd</sup> $\alpha$	26 <sup>bc</sup> $\alpha$	1,20 <sup>c</sup> $\alpha$	0,95 <sup>a</sup> $\alpha$	2,42 <sup>de</sup> $\beta$	1,55 <sup>ab</sup> $\alpha$
MC72	74 <sup>a</sup> $\alpha$	62 <sup>a</sup> $\alpha$	25 <sup>bcd</sup> $\alpha$	22 <sup>ab</sup> $\alpha$	0,94 <sup>abc</sup> $\alpha$	0,78 <sup>a</sup> $\alpha$	1,74 <sup>b</sup> $\beta$	1,25 <sup>a</sup> $\alpha$
MC80	139 <sup>d</sup> $\beta$	99 <sup>bc</sup> $\alpha$	22 <sup>abc</sup> $\alpha$	21 <sup>ab</sup> $\alpha$	1,17 <sup>bc</sup> $\alpha$	0,88 <sup>a</sup> $\alpha$	2,89 <sup>ef</sup> $\beta$	2,07 <sup>bcd</sup> $\alpha$
MC84	87 <sup>ab</sup> $\alpha$	70 <sup>ab</sup> $\alpha$	28 <sup>d</sup> $\alpha$	25 <sup>abc</sup> $\alpha$	0,82 <sup>ab</sup> $\alpha$	0,68 <sup>a</sup> $\alpha$	2,31 <sup>cd</sup> $\beta$	1,72 <sup>abc</sup> $\alpha$
MS49	118 <sup>bcd</sup> $\beta$	71 <sup>ab</sup> $\alpha$	28 <sup>d</sup> $\alpha$	33 <sup>d</sup> $\beta$	1,20 <sup>c</sup> $\beta$	0,82 <sup>a</sup> $\alpha$	3,17 <sup>f</sup> $\beta$	2,27 <sup>d</sup> $\alpha$
MS104	148 <sup>d</sup> $\alpha$	112 <sup>c</sup> $\alpha$	22 <sup>abcd</sup> $\alpha$	20 <sup>a</sup> $\alpha$	0,72 <sup>a</sup> $\alpha$	0,70 <sup>a</sup> $\alpha$	2,90 <sup>ef</sup> $\beta$	2,00 <sup>bcd</sup> $\alpha$
<b>Riego</b>	<b>103<sup>\beta</sup></b>	<b>80<sup>\alpha</sup></b>	<b>24<sup>\alpha</sup></b>	<b>24<sup>\alpha</sup></b>	<b>1,00<sup>\beta</sup></b>	<b>0,78<sup>\alpha</sup></b>	<b>2,33<sup>\beta</sup></b>	<b>1,79<sup>\alpha</sup></b>

RDC, riego deficitario controlado. Separación de medias realizadas con el test de rangos múltiples de Duncan. Para cada genotipo, diferentes letras en la misma columna (a-f) indican diferencias significativas entre genotipos ( $p < 0,05$ ). Para cada parámetro de producción, diferentes letras en la misma fila ( $\alpha, \beta$ ) indican diferencias significativas entre tratamientos de riego (prueba de rangos múltiples de Duncan,  $p < 0,05$ ).

### 1.5.1. *Peso medio del racimo*

Durante el primer año de estudio, se observaron diferencias significativas entre genotipos y tratamientos de riego, con una reducción media del peso medio del racimo en seco del 22%, respecto a RDC (Tabla 10). Los únicos genotipos que presentaron una reducción estadísticamente significativa del peso medio del racimo en seco fueron MC19 (30%), MC59 (40%), MC80 (29%) y MS49 (40%), aunque la tendencia de todos los genotipos, excepto la de MC49, fue la de disminuir el peso medio del racimo en seco, como era de esperar. Los valores en RDC oscilaron entre 148 g de MS104 y 67 g de MC49, con un valor medio de 103 g, frente a valores en seco que oscilaron entre 59 g de MC59 y 112 g de MS104, con un valor medio de 80 g. Los genotipos MC16, MC80 y MS104 mantuvieron un peso medio del racimo por encima de la media tanto en RDC como en seco, siendo MS104 el que presentó el mayor peso en RDC (148 g) y en seco (112 g). Por otro lado, MC19, MC38, MC56, MC59, MC72 y MC84 mantuvieron un peso medio del racimo por debajo de la media en ambas condiciones de riego.

### 1.5.2. *Número de racimos*

En este caso se observaron diferencias significativas entre genotipos, pero no entre tratamientos de riego (Tabla 10), a excepción de MS49 que incrementó significativamente el número de racimos en seco. En RDC, el número de racimos por planta osciló entre 19 racimos de MC49 y 28 racimos de MC84 y MS49, con un valor medio de 24 racimos por planta, frente a los 20 racimos en seco de MC16 y MS104 y 33 racimos de MS49, con un valor medio de 24 racimos por planta en seco (Tabla 10). Si atendemos al efecto del tratamiento de riego, MS49 fue el genotipo que presentó el mayor número de racimos en seco.

### 1.5.3. *Peso medio de la baya*

Se observaron diferencias significativas entre genotipos, solo en condiciones de RDC, y entre tratamientos de riego con una reducción media del peso medio de la baya en seco del 22%, respecto a RDC (Tabla 10). Aunque todos los genotipos redujeron el peso medio de la baya en seco, esta disminución solo fue significativa en los genotipos MC38 (16%) y MS49 (32%). En RDC, el peso medio de la baya osciló entre 0,72 g de MS104 y 1,20 g de MC59 y MS49, con un valor medio de 1,00 g, frente a un peso medio de baya menor en seco que osciló entre 0,66 g de MC56 y 0,95 g de MC59, con un valor medio de 0,78 g. En seco, las diferencias entre genotipos no fueron estadísticamente significativas, aunque se pudo apreciar que MC59, MC80, MC49, MS49 y MC19 tuvieron un peso de baya por encima del valor medio (Tabla 10).

#### 1.5.4. Producción total

Se observaron diferencias significativas entre genotipos y entre tratamientos de riego, disminuyendo la producción total en secano con una reducción media del 23% (Tabla 10), debido principalmente a una disminución del peso medio de los racimos (reducción del 22%) y de las bayas (reducción del 22%) en secano. La producción en RDC osciló entre 1,21 Kg vid<sup>-1</sup> de MC49 y 3,17 Kg vid<sup>-1</sup> de MS49, con un valor medio de 2,33 Kg vid<sup>-1</sup>, frente a una producción significativamente menor en secano que osciló entre 1,25 Kg vid<sup>-1</sup> de MC38 y MC72 y 2,27 Kg vid<sup>-1</sup> de MS49, con un valor medio de 1,79 Kg vid<sup>-1</sup>. Como era de esperar, todos los genotipos tuvieron una producción mayor en regadío que en secano, excepto MC49 (Tabla 10). Los genotipos MC16, MS49 y MS104 mantuvieron una producción por encima de la media tanto en RDC como en secano, siendo MS49 el más productivo en RDC (3,17 Kg vid<sup>-1</sup>) y secano (2,27 Kg vid<sup>-1</sup>). Por otro lado, MC19, MC38, MC72 y MC84 mantuvieron una producción por debajo de la media en ambas condiciones de riego. El genotipo MC49 fue el menos productivo en RDC (1,21 Kg vid<sup>-1</sup>) mientras que en secano fueron MC38 y MC72 (1,25 Kg vid<sup>-1</sup>). Si atendemos al efecto del tratamiento de riego, MC16, MC19 y MC56 fueron los genotipos a los que menos les afectaron las condiciones de secano en su producción total, con una reducción de la producción en secano del 17%, 15% y 12%, respectivamente. Por el contrario, MC38, MC59 y MS104 fueron los genotipos más afectados por las condiciones de secano, reduciendo su producción un 41%, 36% y 31%, respectivamente.

#### 1.6. Calidad de la uva

En la Tabla 11 se muestran los valores obtenidos para el contenido en fenoles totales en piel y pepita (CFT piel-pepita, mg Kg uva<sup>-1</sup>) y antocianos (mg Kg uva<sup>-1</sup>), el grado Baumé, el pH y la acidez total (AT, g/L tartárico) para cada uno de los genotipos y tratamientos de riego (ver Material y Métodos).

Los valores medios de todos los parámetros utilizados para la evaluación de la calidad de la uva variaron significativamente entre genotipos, y solo algunos de estos parámetros variaron significativamente entre los tratamientos de riego. Tanto el contenido en fenoles totales (CFT) como el de antocianos fueron significativamente superiores en secano frente a RDC, con un incremento medio del 18% en el caso del CFT y del 19% en el contenido de antocianos (Tabla 11).

##### 1.6.1. Contenido en fenoles totales

En RDC, el CFT en la piel y pepita osciló entre 2021 mg Kg uva<sup>-1</sup> de MC59 y 4646 mg Kg uva<sup>-1</sup> de MC38, con un valor medio de 2845 mg Kg uva<sup>-1</sup>. En secano el rango estuvo entre 2007 mg Kg uva<sup>-1</sup> de MC49 y 5111 mg Kg uva<sup>-1</sup> de MC84, con un valor medio de 3371 mg Kg uva<sup>-1</sup>. MC19, MC49, MC56, MC72 y MS49 presentaron valores del CFT por debajo de

la media tanto en RDC como en secano, frente a MC38, MC80 y MC84 que presentaron valores del CFT por encima de la media en ambos tratamientos de riego. Los genotipos que en secano incrementaron en mayor porcentaje su CFT fueron MC19 (52%), MC56 (61%), MC59 (74%) y MC72 (58%). Los únicos genotipos que no incrementaron en secano su CFT fueron MC38 y MS104, disminuyendo un 11% y 29% este contenido, respectivamente (Tabla 11).

**Tabla 11. Contenido de fenoles totales en piel y pepita (CFT piel-pepita), antocianos, °Baumé, pH y acidez total (AT) en 2018.**

Genotipo	CFT piel-pepita (mg Kg uva <sup>-1</sup> )		Antocianos (mg Kg uva <sup>-1</sup> )		°Baumé		pH		AT (g/L tartárico)	
	RDC	Secano	RDC	Secano	RDC	Secano	RDC	Secano	RDC	Secano
MC16	2849 <sup>c</sup> $\alpha$	3217 <sup>c</sup> $\beta$	2844 <sup>f</sup> $\alpha$	3322 <sup>g</sup> $\beta$	13,8 <sup>e</sup> $\alpha$	13,8 <sup>j</sup> $\alpha$	4,17 <sup>g</sup> $\beta$	4,08 <sup>e</sup> $\alpha$	4,10 <sup>e</sup> $\alpha$	4,89 <sup>d</sup> $\beta$
MC19	2038 <sup>a</sup> $\alpha$	3093 <sup>c</sup> $\beta$	2103 <sup>d</sup> $\alpha$	3344 <sup>g</sup> $\beta$	11,6 <sup>bc</sup> $\beta$	11,2 <sup>c</sup> $\alpha$	3,95 <sup>c</sup> $\alpha$	3,99 <sup>c</sup> $\beta$	3,50 <sup>ab</sup> $\beta$	3,02 <sup>a</sup> $\alpha$
MC38	4646 <sup>f</sup> $\beta$	4128 <sup>f</sup> $\alpha$	3327 <sup>g</sup> $\beta$	2995 <sup>ef</sup> $\alpha$	13,7 <sup>e</sup> $\beta$	12,2 <sup>e</sup> $\alpha$	3,80 <sup>a</sup> $\beta$	3,73 <sup>a</sup> $\alpha$	4,80 <sup>g</sup> $\alpha$	5,54 <sup>e</sup> $\beta$
MC49	2193 <sup>ab</sup> $\alpha$	2007 <sup>a</sup> $\alpha$	1926 <sup>cd</sup> $\beta$	1698 <sup>a</sup> $\alpha$	14,2 <sup>h</sup> $\beta$	13,3 <sup>i</sup> $\alpha$	3,89 <sup>b</sup> $\alpha$	4,00 <sup>c</sup> $\beta$	4,52 <sup>f</sup> $\alpha$	5,00 <sup>de</sup> $\alpha$
MC56	2023 <sup>a</sup> $\alpha$	3262 <sup>cd</sup> $\beta$	1817 <sup>bc</sup> $\alpha$	2798 <sup>de</sup> $\beta$	14,2 <sup>g</sup> $\beta$	13,2 <sup>h</sup> $\alpha$	4,08 <sup>e</sup> $\beta$	4,05 <sup>d</sup> $\alpha$	3,45 <sup>a</sup> $\alpha$	3,39 <sup>ab</sup> $\alpha$
MC59	2021 <sup>a</sup> $\alpha$	3507 <sup>d</sup> $\beta$	1648 <sup>b</sup> $\alpha$	2618 <sup>d</sup> $\beta$	11,6 <sup>c</sup> $\beta$	9,9 <sup>a</sup> $\alpha$	4,15 <sup>f</sup> $\beta$	3,72 <sup>a</sup> $\alpha$	3,78 <sup>cd</sup> $\alpha$	4,28 <sup>c</sup> $\beta$
MC72	2098 <sup>a</sup> $\alpha$	3316 <sup>cd</sup> $\beta$	1213 <sup>a</sup> $\alpha$	2254 <sup>c</sup> $\beta$	14,1 <sup>f</sup> $\beta$	13,3 <sup>i</sup> $\alpha$	4,18 <sup>g</sup> $\alpha$	4,14 <sup>f</sup> $\alpha$	3,92 <sup>d</sup> $\beta$	3,56 <sup>ab</sup> $\alpha$
MC80	3239 <sup>d</sup> $\alpha$	3844 <sup>e</sup> $\beta$	2807 <sup>f</sup> $\alpha$	3224 <sup>g</sup> $\alpha$	11,5 <sup>b</sup> $\alpha$	12,7 <sup>f</sup> $\beta$	3,98 <sup>d</sup> $\alpha$	4,10 <sup>e</sup> $\alpha$	3,36 <sup>a</sup> $\alpha$	3,11 <sup>ab</sup> $\alpha$
MC84	4303 <sup>e</sup> $\alpha$	5111 <sup>g</sup> $\beta$	3717 <sup>h</sup> $\alpha$	3739 <sup>h</sup> $\alpha$	14,0 <sup>f</sup> $\beta$	13,1 <sup>g</sup> $\alpha$	4,09 <sup>e</sup> $\alpha$	4,10 <sup>e</sup> $\alpha$	3,65 <sup>bc</sup> $\alpha$	3,60 <sup>b</sup> $\alpha$
MS49	2408 <sup>b</sup> $\alpha$	3138 <sup>c</sup> $\beta$	2385 <sup>e</sup> $\alpha$	3173 <sup>fg</sup> $\beta$	12,6 <sup>d</sup> $\beta$	11,9 <sup>d</sup> $\alpha$	4,00 <sup>d</sup> $\alpha$	4,01 <sup>c</sup> $\alpha$	3,45 <sup>a</sup> $\alpha$	4,98 <sup>de</sup> $\beta$
MS104	3483 <sup>d</sup> $\beta$	2462 <sup>b</sup> $\alpha$	2362 <sup>e</sup> $\beta$	1935 <sup>b</sup> $\alpha$	9,4 <sup>a</sup> $\alpha$	10,5 <sup>b</sup> $\beta$	3,82 <sup>a</sup> $\alpha$	3,91 <sup>b</sup> $\beta$	4,26 <sup>e</sup> $\alpha$	4,22 <sup>c</sup> $\alpha$
<b>Riego</b>	<b>2845<sup>\alpha</sup></b>	<b>3371<sup>\beta</sup></b>	<b>2377<sup>\alpha</sup></b>	<b>2827<sup>\beta</sup></b>	<b>12,8<sup>\alpha</sup></b>	<b>12,3<sup>\alpha</sup></b>	<b>4,01<sup>\alpha</sup></b>	<b>3,98<sup>\alpha</sup></b>	<b>3,89<sup>\alpha</sup></b>	<b>4,14<sup>\alpha</sup></b>

RDC, riego deficitario controlado. Separación de medias realizadas con el test de rangos múltiples de Duncan. Para cada genotipo, diferentes letras en la misma columna (a-j) indican diferencias significativas entre genotipos ( $p < 0,05$ ). Para cada parámetro de calidad de la uva, diferentes letras en la misma fila ( $\alpha, \beta$ ) indican diferencias significativas entre tratamientos de riego (prueba de rangos múltiples de Duncan,  $p < 0,05$ ).

### 1.6.2. Contenido de antocianos

En RDC, el contenido de antocianos osciló entre 1213 mg Kg uva<sup>-1</sup> de MC72 y 3717 mg Kg uva<sup>-1</sup> de MC84, con un valor medio de 2377 mg Kg uva<sup>-1</sup>; en secano osciló entre 1698 mg Kg uva<sup>-1</sup> de MC49 y 3739 mg Kg uva<sup>-1</sup> de MC84, con un valor medio de 2827 mg Kg uva<sup>-1</sup> (Tabla 11). Los genotipos MC49, MC56, MC59, MC72 y MS104 presentaron un contenido de antocianos por debajo de la media tanto en RDC como en secano; no obstante, solo MC49 y MC72 mostraron valores inferiores a 2000 mg Kg uva<sup>-1</sup> en ambos tratamientos de riego. Por otro lado, MC16, MC38, MC80, MC84 y MS49 presentaron un contenido de antocianos por encima de la media en ambos tratamientos de riego. Los genotipos que en secano incrementaron significativamente en mayor porcentaje su contenido en antocianos fueron MC16, MC19, MC56, MC59, MC72 y MS49, siendo MC72 el que presentó el mayor aumento en secano con un 86%. Los genotipos MC38, MC49 y MS104 fueron los únicos que no incrementaron en secano su contenido en antocianos, disminuyendo respectivamente un 10%, 12% y 18% este contenido de manera significativa con respecto al tratamiento de RDC (Tabla 11).

### 1.6.3. Grado Baumé

El comportamiento esperado bajo las condiciones ensayadas sería que la disponibilidad de agua en RDC favoreciera la acumulación de azúcares, por lo que cabría esperar un mayor °Baumé en RDC frente a secano. Este comportamiento se dio en la mayoría de los casos, excepto en MC16 que presentó el mismo °Baumé en RDC y secano (13,8) y MC80 y MS104 que presentaron un °Baumé superior en secano (Tabla 11). En condiciones de RDC, el °Baumé osciló entre 9,4 de MS104 y 14,2 de MC49 y MC56, con un valor medio de 12,8, frente a un rango en secano de 9,9 de MC59 a 13,8 de MC16, con un valor medio de 12,3. Atendiendo al °Baumé alcanzado en secano por los genotipos, se pueden establecer tres grupos: °Baumé bajo, genotipos que presentan valores de 9 a 10,9 (MC59 y MS104); °Baumé medio, genotipos con valores de 11 a 12,9 (MC19, MC38, MC80, MS49); °Baumé alto, genotipos con valores de °Baumé mayores de 13 (MC16, MC49, MC56, MC72 y MC84). Los genotipos que alcanzaron la madurez fisiológica con un menor contenido de azúcares y, por tanto, con un menor °Baumé fueron MS104 en condiciones de RDC (9,4) y MC59 en secano (9,9). Por el contrario, MC49 y MC56 se vendimiaron con el °Baumé más elevado en RDC (14,2) y en el caso de secano fue MC16 (13,8).

### 1.6.4. pH

En general, se observaron diferencias significativas con respecto a los valores de pH entre genotipos y entre tratamientos de riego (Tabla 11). Los datos obtenidos muestran que los genotipos MC16, MC38, MC56 y MC59 presentaron un pH mayor en condiciones de RDC, a diferencia de MC19, MC49 y MS104 que presentaron un pH más alto en secano; por otro lado, MC72, MC80, MC84 y MS49 no presentaron diferencias significativas para el pH entre los tratamientos de riego (Tabla 11). El pH en condiciones de RDC osciló entre 3,80 de MC38 y 4,18 de MC72, con un valor medio de 4,01; en secano el rango osciló entre 3,72 de MC59 y 4,14 de MC72, con un valor medio de 3,98. En base a los resultados de pH obtenidos en secano, se pueden establecer cuatro grupos:  $\text{pH} < 3,75$  (MC38 y MC59);  $3,75 < \text{pH} < 3,90$  (MS104);  $3,90 < \text{pH} < 4,00$  (MS49, MC56, MC49 y MC19); y  $\text{pH} > 4,10$  (MC16, MC72, MC80 y MC84).

### 1.6.5. Acidez total

Se observaron diferencias significativas entre genotipos y entre tratamientos de riego (Tabla 11) para el contenido en acidez total, oscilando en condiciones de RDC entre 4,80 g/L tartárico de MC38 y 3,36 g/L tartárico de MC80, con un valor medio de 3,89 g/L tartárico, frente a un rango en secano de 3,02 g/L de MC19 a 5,54 g/L tartárico de MC38, con un valor medio de 4,14 g/L tartárico. Atendiendo a los resultados, los genotipos MC16, MC38, MC59 y MS49 vieron incrementada su acidez total en secano; MC19 y MC72 vie-

ron disminuida su acidez total en seco; y MC49, MC56, MC80, MC84 y MS104 no mostraron diferencias significativas entre tratamientos. Se pueden diferenciar tres grupos en función de los valores de acidez total alcanzados en seco: acidez total baja, genotipos con valores en torno a 3 g/L tartárico (MC19, MC56, MC72, MC80 y MC84); acidez total buena, genotipos con valores en torno a 4 g/L tartárico (MC16, MC59, MS49 y MS104); y acidez total alta, genotipos con valores en torno a 5 g/L tartárico (MC49 y MC38).

### 1.7. Preselección de genotipos de interés

Los resultados preliminares obtenidos durante este primer año de evaluación nos permitieron preseleccionar 6 genotipos de interés en base a todos los parámetros estudiados y a su comportamiento en condiciones de sequía, buscando una variabilidad fenotípica que nos permitiera estudiar distintos mecanismos de respuesta de la vid ante situaciones de estrés hídrico. Los genotipos preseleccionados fueron: MC16, MC19, MC72, MC80, MS49 y MS104. El estudio de estos 6 genotipos durante los años 2019, 2020 y 2021 nos permitirá además seleccionar aquellos que mantengan una buena calidad agronómica, productiva y enológica en condiciones de escasez de agua y altas temperaturas, abarcando distintas épocas de vendimia. Las características más relevantes por las que se preseleccionaron los distintos genotipos se corresponden principalmente con las obtenidas en condiciones de seco durante el periodo de vendimia y se detallan a continuación:

**MC16** alcanzó una de las producciones más elevadas en seco (2,10 Kg vid<sup>-1</sup>), junto con un contenido alto de antocianos (3322 mg Kg uva<sup>-1</sup>) y del CFT piel-pepita (3217 mg Kg uva<sup>-1</sup>), y una acidez total buena (4,89 g/L tartárico), vendimiándose cerca del 20 de septiembre. Este genotipo presentó una buena eficiencia intrínseca del uso del agua ( $A_N/g_s$ ) en seco (118  $\mu\text{mol CO}_2 \text{ mol H}_2\text{O}^{-1}$ ) y un estrés hídrico moderado (-1,35 MPa) en condiciones de RDC y severo (-1,55 MPa) en seco. Es uno de los genotipos que mayor estrés hídrico acumuló ( $S_\psi$ ), tanto en RDC (78 MPa día) como en seco (92 MPa día). Su potencial hídrico se vio afectado significativamente por las condiciones de riego, recuperándose en vendimia.

**MC19** tuvo una producción baja-media en seco (1,56 Kg vid<sup>-1</sup>), junto con un contenido alto de antocianos (3344 mg Kg uva<sup>-1</sup>) y del CFT piel-pepita (3093 mg Kg uva<sup>-1</sup>), vendimiándose cerca del 24 de septiembre. En seco, presentó la eficiencia en el uso del agua más alta (130  $\mu\text{mol CO}_2 \text{ mol H}_2\text{O}^{-1}$ ), y un estrés hídrico medio en RDC (-1,21 MPa) y severo (-1,61 MPa) en seco. Es el genotipo que más estrés hídrico acumuló ( $S_\psi$ ) en seco (93 MPa día), mostrando además las mayores diferencias de la  $S_\psi$  entre las condiciones de riego.



**MC72** tuvo una producción baja en secano (1,25 Kg vid<sup>-1</sup>), junto con un alto contenido de antocianos (2254 mg Kg uva<sup>-1</sup>) y del CFT piel-pepita (3316 mg Kg uva<sup>-1</sup>), vendimiándose cerca del 28 de agosto. Presentó una eficiencia en el uso del agua alta (128  $\mu\text{mol CO}_2 \text{ mol H}_2\text{O}^{-1}$ ) en secano, y un estrés hídrico medio en RDC (-1,15 MPa) frente a un estrés hídrico severo (-1,49 MPa) en secano. Es uno de los genotipos que menor estrés hídrico acumuló ( $S_{\psi}$ ), tanto en RDC (66 MPa día) como en secano (82 MPa día), respondiendo a las condiciones de riego a nivel de potencial hídrico.

**MC80** tuvo una buena producción en secano (2,07 Kg vid<sup>-1</sup>), junto con un alto contenido de antocianos (3224 mg Kg uva<sup>-1</sup>) y del CFT piel-pepita (3844 mg Kg uva<sup>-1</sup>), vendimiándose cerca del 2 de octubre (tardía). Presentó en secano una eficiencia en el uso del agua buena (117  $\mu\text{mol CO}_2 \text{ mol H}_2\text{O}^{-1}$ ), y un estrés hídrico moderado en RDC (-1,32 MPa) y severo en secano (-1,48 MPa). Es el genotipo que menor estrés hídrico acumuló ( $S_{\psi}$ ), tanto en RDC (64 MPa día) como en secano (76 MPa día), y uno de los menos afectados por las condiciones de riego a nivel de potencial hídrico. Este genotipo presentó además el periodo de maduración más largo tanto en RDC (55 días) como en secano (53 días).

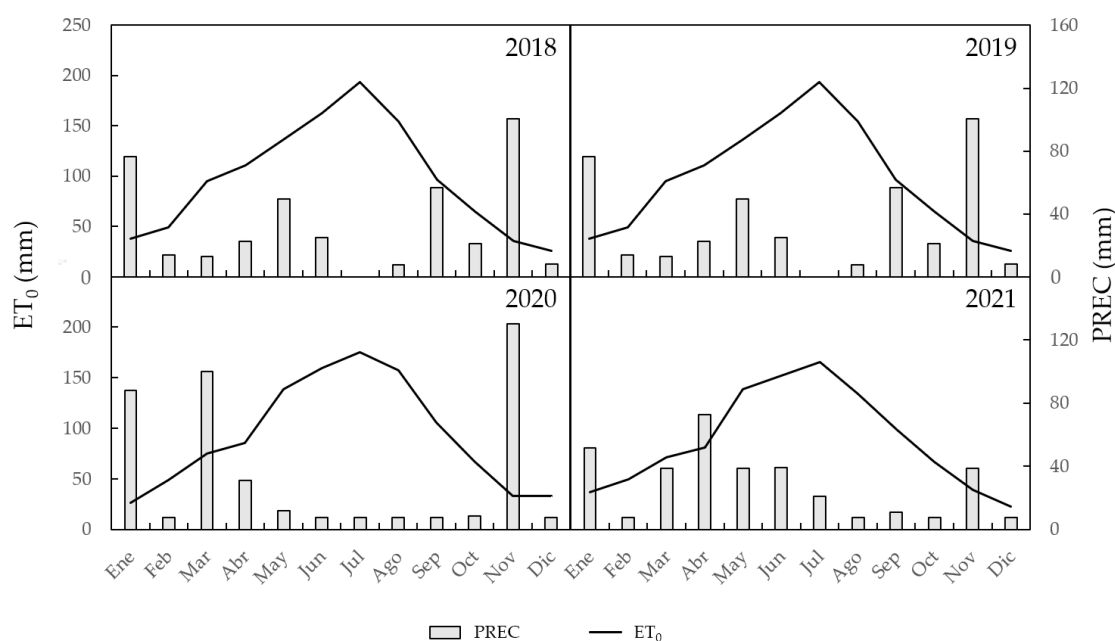
**MS49** alcanzó una buena producción en secano (2,27 Kg vid<sup>-1</sup>), junto con un alto contenido de antocianos (3173 mg Kg uva<sup>-1</sup>) y del CFT piel-pepita (3138 mg Kg uva<sup>-1</sup>), y una acidez total buena (4,98 g/L tartárico), vendimiándose cerca del 10 de septiembre. Presentó en secano una eficiencia en el uso del agua buena (121  $\mu\text{mol CO}_2 \text{ mol H}_2\text{O}^{-1}$ ), y un estrés hídrico moderado (-1,35 MPa) en RDC y severo (-1,58 MPa) en secano. Este genotipo mantuvo su nivel de estrés hídrico en envero y vendimia, no recuperándose su potencial hídrico en vendimia tras el aporte de agua y la bajada de temperaturas.

**MS104** alcanzó una buena producción en secano (2 Kg vid<sup>-1</sup>), pero un contenido de antocianos (1935 mg Kg uva<sup>-1</sup>) y del CFT piel-pepita (2462 mg Kg uva<sup>-1</sup>) por debajo del valor medio, y una acidez total buena (4,22 g/L tartárico), vendimiándose cerca del 4 de septiembre. Presentó en secano una eficiencia en el uso del agua buena (108  $\mu\text{mol CO}_2 \text{ mol H}_2\text{O}^{-1}$ ), y un estrés hídrico medio tanto en RDC (-1,33 MPa) como en secano (-1,39 MPa). Es el genotipo menos afectado por las condiciones de riego a nivel de estrés hídrico acumulado ( $S_{\psi}$ ), aunque es el que más recupera su potencial hídrico en vendimia, tanto en RDC como en secano, tras el aporte de agua y la bajada de temperaturas.

## 2. Parámetros climáticos y estados fenológicos (2018-2021)

### 2.1. Parámetros climáticos

En la Figura 3 se representan los valores mensuales acumulativos correspondientes a la evapotranspiración de referencia ( $ET_0$ ) y a las precipitaciones registradas durante las cuatro campañas de estudio. La  $ET_0$  acumulada durante 2018 (1162 mm) y 2019 (1173 mm) fue muy similar, disminuyendo ligeramente durante 2020 (1106 mm) y 2021 (1057 mm). Estos valores estuvieron muy próximos a los datos medios registrados en los últimos 20 años (1206 mm, datos mostrados en la Tabla 1). Como se observa en la Figura 3, el periodo con mayor demanda evapotranspirativa durante los cuatro años de estudio se produjo de mayo a agosto (647 mm en 2018; 663 mm en 2019; 631 mm en 2020; 590 mm en 2021), coincidiendo principalmente con el cuajado y el envero de los racimos, siendo julio el mes que presentó la  $ET_0$  más elevada en los cuatro años de estudio (194 mm en 2018; 185 mm en 2019; 176 mm en 2020; 166 mm en 2021).



**Figura 3. Valores mensuales acumulativos de la evapotranspiración de referencia ( $ET_0$ ) y precipitaciones (PREC) registradas durante los años 2018, 2019, 2020 y 2021.**

La  $ET_0$  se representa con una línea continua y la precipitación se representa con barras verticales.

Las precipitaciones totales registradas en 2018 (393 mm), 2019 (427 mm) y 2020 (393 mm), fueron muy similares durante los tres primeros años de estudio. Estos valores fueron ligeramente superiores a la media de los últimos 20 años (345 mm, Tabla 1). Por el contrario, en el año 2021 se registraron unas precipitaciones totales (321 mm) ligeramente inferiores a las observadas tanto en las primeras tres campañas, como en la media de los últimos 20 años. En las cuatro campañas estudiadas, se observaron diferencias entre años

en la distribución de las precipitaciones a lo largo de los meses (Figura 3). Así, las precipitaciones registradas durante el periodo con mayor  $ET_0$  (mayo – agosto) fueron menores en los años 2019 y 2020, con unos valores acumulados de 29 y 22 mm respectivamente, frente a los 80 y 100 mm acumulados en 2018 y 2021, respectivamente. Por otro lado, si tenemos en cuenta el periodo de dormición que abarca desde octubre a marzo, la acumulación de agua por precipitaciones fue mayor durante los dos últimos años de estudio, con 308 mm en 2020 y 235 mm en 2021, frente a las registradas en 2018 (110 mm) y 2019 (142 mm).

En la Tabla 12 se muestran los datos de otras variables meteorológicas registradas, durante los diferentes estados fenológicos, en el periodo experimental (2018-2021): valores medios del déficit de presión de vapor (DPV), temperatura del aire media ( $T_{MED}$ ), máxima ( $T_{MAX}$ ) y mínima ( $T_{MIN}$ ), radiación máxima ( $RAD_{MAX}$ ) y media ( $RAD_{MED}$ ), así como los valores acumulados de radiación ( $RAD_{ACU}$ ).

En 2018 y 2019 se registraron valores medios anuales de déficit de vapor de agua (DPV) muy similares (0,92 y 0,98 KPa, respectivamente), próximos al promedio de los últimos 20 años (0,96 KPa), produciéndose un ligero aumento en 2020 (1,23 KPa) y 2021 (1,09 KPa). Los valores más altos del DPV se registraron en el periodo que abarca desde la floración hasta la vendimia (ambos incluidos) durante todas las campañas estudiadas (Tabla 12).

Se recogieron datos similares para la temperatura del aire media ( $T_{MED}$ ), máxima ( $T_{MAX}$ ) y mínima ( $T_{MIN}$ ), registrándose los valores más elevados durante el periodo que abarca desde la floración hasta la vendimia (ambos incluidos). El invierno fue el periodo más cálido en los cuatro años de estudio. El año más cálido fue 2020, con una temperatura media y máxima superior en 3 °C respecto a los años más frescos 2018 y 2019 (Tabla 12), y a la media registrada en los últimos 20 años (15,3 °C, Tabla 1).

En los años 2020 y 2021 se registraron los valores medios anuales más elevados para las  $RAD_{MAX}$  (905,84 y 906,92 W/m<sup>2</sup>, respectivamente) y para la  $RAD_{MED}$  (228,62 y 213,46 W/m<sup>2</sup>, respectivamente). Los valores más elevados se registraron en el periodo que abarca desde la brotación hasta la vendimia (ambos incluidos) en los cuatro años de estudio (Tabla 12). La radiación acumulada ( $RAD_{ACU}$ ) fue superior en 2019 (6394,99 MJ/m<sup>2</sup>), registrándose los valores más elevados en el periodo de floración y cuajado, junto con el periodo de dormición, en los cuatro años de estudio.

A la vista de estos datos, las condiciones meteorológicas más favorables para el viñedo se dieron en 2020 y 2021. Como se ha mencionado anteriormente, en 2020 y 2021 se registraron los valores más bajos de  $ET_0$  tanto en el periodo con mayor demanda evapotranspirativa como en la totalidad del año. Además, durante el periodo de dormición

(octubre – marzo) de ambas campañas, se registraron las mayores precipitaciones acumuladas (308 mm en 2020 y 235 mm en 2021). Con respecto a la campaña 2020, cabe destacar que junto a las precipitaciones caídas durante el periodo de dormición, hay que sumarle la DANA caída durante el mes de septiembre de 2019 en la que se registraron 144 mm (del 11 al 14 septiembre). Por lo tanto, la disponibilidad hídrica por parte del viñedo durante estas campañas fue mayor, debido a una mayor acumulación de agua almacenada en el suelo y a una menor pérdida del agua por evapotranspiración, lo cual propició unas condiciones menos estresantes para las vides. Esta mayor disponibilidad de agua observada en las últimas campañas, provocó que los genotipos incrementasen su desarrollo vegetativo y rendimiento en la campaña de 2021 en ambos tratamientos de riego.

**Tabla 12. Variables meteorológicas registradas durante diferentes estados fenológicos en los años 2018, 2019, 2020 y 2021.**

Periodos fenológicos	Periodo año	DPV (KPa)	T <sub>MED</sub> (°C)	T <sub>MAX</sub> (°C)	T <sub>MIN</sub> (°C)	RAD <sub>ACU</sub> (MJ/m <sup>2</sup> )	RAD <sub>MAX</sub> (W/m <sup>2</sup> )	RAD <sub>MED</sub> (W/m <sup>2</sup> )
<b>Año 2018</b>								
Brotación-Floración	7 abril-22 mayo	0,87	14,6	21,6	6,8	1014	1126	259
Floración-Cuajado-Envero	23 mayo-29 julio	1,69	22,6	30,3	13,3	1775	1067	307
Envero-Vendimia	30 julio-11 ago	2,20	26,5	34,8	16,6	313	976	283
Vendimia-Poscosecha	12 ago-2 oct	1,16	22,4	29,6	15,6	948	938	215
Poscosecha-Dormición	3 oct-12 dic	0,49	11,6	19,2	5,4	737	658	122
Dormición	13 dic-6 abril	0,51	8,1	15,6	1,3	1418	747	145
<b>Total / Media anual</b>		<b>0,92</b>	<b>15,0</b>	<b>22,5</b>	<b>7,6</b>	<b>6204</b>	<b>873</b>	<b>200</b>
<b>Año 2019</b>								
Brotación-Floración	15 abril-29 mayo	0,92	15,9	23,0	8,2	999	1045	261
Floración-Cuajado-Envero	30 mayo-1 ago	1,89	23,3	31,6	13,0	1723	1021	317
Envero-Vendimia	2 ago-27 ago	1,84	25,1	33,2	16,1	603	985	273
Vendimia-Poscosecha	28 ago-19 sep	1,00	21,4	27,7	15,3	376	910	192
Poscosecha-Dormición	20 sep-12 dic	0,63	13,4	20,7	6,6	1026	682	144
Dormición	13 dic-14 abril	0,59	8,3	17,2	0,2	1668	751	160
<b>Total / Media anual</b>		<b>0,98</b>	<b>15,1</b>	<b>23,0</b>	<b>7,0</b>	<b>6395</b>	<b>845</b>	<b>206</b>
<b>Año 2020</b>								
Brotación-Floración	8 abril-9 mayo	0,74	15,3	21,9	8,2	807	1078	226
Floración-Cuajado-Envero	20 mayo-29 jul	1,73	22,9	31,3	12,8	1885	1042	313
Envero-Vendimia	30 jul-17 ago	2,16	25,8	35,1	15,7	461	977	286
Vendimia-Poscosecha	18 ago-14 sep	1,60	22,7	31,4	12,6	609	944	256
Poscosecha-Dormición	15 sep-8 dic	0,73	13,6	21,8	5,8	1101	703	153
Dormición	10 dic-7 abril	0,44	8,6	16,5	1,6	1419	691	138
<b>Total / Media anual</b>		<b>1,23</b>	<b>18,1</b>	<b>26,3</b>	<b>9,4</b>	<b>6283</b>	<b>906</b>	<b>229</b>
<b>Año 2021</b>								
Brotación-Floración	10 abril-22 mayo	0,82	15,4	22,4	8,0	878	1085	240
Floración-Cuajado-Envero	23 mayo-26 jul	1,52	22,1	30,1	12,8	1626	1031	295
Envero-Vendimia	27 jul-24 ago	1,87	25,5	33,8	16,6	637	955	259
Vendimia-Poscosecha	25 ago-9 sep	1,21	22,0	29,6	14,5	500	966	203
Poscosecha-Dormición	10 sep-29 nov	0,66	13,1	20,8	5,8	823	703	142
Dormición	30 nov-9 abril	0,50	8,7	16,4	1,5	1427	703	142
<b>Total / Media anual</b>		<b>1,09</b>	<b>17,8</b>	<b>25,5</b>	<b>9,9</b>	<b>5890</b>	<b>907</b>	<b>213</b>

Valores medios: Déficit de presión de vapor (DPV), temperatura del aire media (T<sub>MED</sub>), máxima (T<sub>MAX</sub>) y mínima (T<sub>MIN</sub>), radiación máxima (RAD<sub>MAX</sub>) y media (RAD<sub>MED</sub>). Valores acumulativos: Radiación acumulada (RAD<sub>ACU</sub>).

En conjunto, las condiciones meteorológicas más estresantes se produjeron durante los meses de julio y agosto, coincidiendo con el periodo de envero a vendimia, registrándose los valores más elevados de  $ET_0$ , DPV,  $T_{MED}$ ,  $T_{MAX}$ , y los valores más bajos de precipitaciones.

## 2.2. Características edáficas

Las características del suelo de la parcela experimental se detallan en la Tabla 13. En la misma se recoge el análisis en extracto saturado del pH, conductividad eléctrica, cationes, aniones y el contenido en materia orgánica.

**Tabla 13. Análisis químico de suelo de la parcela experimental.**

	Profundidad (cm)		Promedio
	0-30	30-60	
pH	8,16 Alcalino	7,98 Alcalino	8,07 Alcalino
Porcentaje de saturacion (%)	37	36	36
Conductividad eléctrica (dS/m)	0,86 No salino	0,84 No salino	0,85 No salino
ANIONES			
Carbonatos (meq/L)	0,00 Muy bajo	0,00 Muy bajo	0,00 Muy bajo
Bicarbonatos (meq/L)	2,20 Bajo	2,20 Bajo	2,20 Bajo
Cloruros (meq/L)	1,91 Bajo	4,14 Bajo	3,02 Bajo
Nitratos (meq/L)	4,99	4,32	4,65
Nitritos (meq/L)	0,27	0,09	0,18
Sulfatos (meq/L)	0,72 Muy bajo	1,00	0,86
Fosfatos (meq/L)	0,00	0,00	0,00
Bromuro (meq/L)	0,00	0,00	0,00
Fluoruro (meq/L)	0,00	0,00	0,00
Aniones Totales (meq/L)	10,08	11,75	10,91
CATIONES			
Sodio (meq/L)	1,28 Bajo	1,94 Bajo	1,61 Bajo
Potasio (meq/L)	1,39 Muy bajo	3,13 Bajo	2,26 Bajo
Calcio (meq/L)	5,98 Muy bajo	5,19 Muy bajo	5,59 Muy bajo
Magnesio (meq/L)	1,72 Muy bajo	1,66 Muy bajo	1,69 Muy bajo
Cationes totales (meq/L)	10,36	11,92	
Cloruro sódico (g/L)	0,11	0,24	0,18
Sales totales (g/L)	0,78	0,89	0,84
Materia orgánica total (%)	1,14 Muy bajo	1,05 Muy bajo	1,09 Muy bajo
M.O. Fácilmente oxidable (%)	0,88	0,81	0,84
Carbono orgánico total (%)	0,67	0,61	0,64
Nitrogeno orgánico (Kjeldahl) (%)	0,10	0,09	0,10
Relacion Carbono/Nitrogeno	6,53	6,26	6,39
Fosforo (Olsen) (ppm)	12,22 Bajo	26,13 Bajo	19,17 Bajo

El suelo de la parcela experimental es franco arcilloso (33% arcilla, 38% limo y 30% arena), presentando un pH alcalino de 8,07, un porcentaje de saturación del 36% y una conductividad eléctrica de 0,85 dS/m, lo que indica que es un suelo no salino.

El contenido de aniones y cationes en el extracto saturado de suelo fue bajo, como se puede observar en la Tabla 13. El suelo presentó un contenido de materia orgánica muy

bajo en torno al 1,09%, un bajo contenido en nitrógeno orgánico (0,10%) y en fósforo (19,17 ppm).

### 2.3. Estados fenológicos

En general, en todos los estados fenológicos estudiados (Tabla 14), se observó una variación significativa ( $p < 0,001$ ) entre los genotipos (G) y los años (A) de estudio, dentro de un mismo tratamiento de riego (Fernández-López et al., 2022). No se encontraron diferencias significativas para un mismo periodo fenológico entre los tratamientos de riego (R). La interacción más significativa se dio entre G x A ( $p < 0,001$ ). Estos valores medios del periodo de estudio se obtuvieron a partir de los valores medios anuales que figuran en el Anexo 4.

La duración media del periodo fenológico, que comprende desde la fecha de brotación hasta la caída total de las hojas, fue muy similar en ambos tratamientos de riego, con una duración media de 223 días en RDC y 222 días en secano. El genotipo MS104 mostró la menor duración media de este periodo fenológico, tanto en RDC (207 días) como en secano (206 días), frente a MC72 que presentó la mayor duración del periodo fenológico tanto en RDC (valor medio de 238 días) como en secano (valor medio de 237 días).

El periodo medio desde la fecha de brotación hasta la de floración fue de 43 días en RDC y secano. MC16 presentó el periodo más corto en RDC (42 días) y MC19 en secano (41 días), frente al periodo más largo de MC72 en RDC y secano (valor medio de 45 y 46 días, respectivamente).

El periodo medio desde la fecha de floración hasta la de envero fue de 68 días en ambos tratamientos de riego. MC19 presentó el periodo floración-envero más corto, con una duración media de 62 y 63 días en RDC y secano, respectivamente. El periodo floración-envero más largo lo presentó MC16 en ambos tratamientos de riego, con un valor medio de 73 días en ambos casos.

El periodo medio de maduración, considerado desde la fecha de envero hasta la fecha de vendimia, fue de 30 días en RDC y 29 días en secano. MC72 presentó el periodo de maduración más corto en RDC y secano (valor medio de 25 y 23 días, respectivamente), frente al periodo más largo en RDC de MC16 (valor medio de 36 días) y en secano de MC80, con una duración media de 34 días. El genotipo que presentó la fecha de vendimia más temprana fue MC72, tanto en RDC (26 de agosto) como en secano (25 de agosto), y el más tardío fue MC80 (13 de septiembre) en ambos tratamientos de riego. Teniendo en cuenta la fecha media de vendimia, MC16, MC80 y MS49 fueron los genotipos de maduración más tardía, mientras que MC19, MC72 y MS104 fueron los genotipos de maduración más temprana (Tabla 14).

Tabla 14. Datos fenológicos medios bajo riego deficitario controlado (RDC) y seco.

Genotipo (G)	Brotación		Floración		Envero		Vendimia		Comienzo caída hoja		Final caída hoja	
	RDC	Secano	RDC	Secano	RDC	Secano	RDC	Secano	RDC	Secano	RDC	Secano
MC16	16-abr. <sup>ab</sup> $\alpha$	16-abr. <sup>ab</sup> $\alpha$	28-may. <sup>ab</sup> $\alpha$	29-may. <sup>a</sup> $\alpha$	9-ago. <sup>c</sup> $\alpha$	10-ago. <sup>c</sup> $\alpha$	14-sep. <sup>b</sup> $\alpha$	11-sep. <sup>c</sup> $\alpha$	13-oct. <sup>b</sup> $\alpha$	13-oct. <sup>b</sup> $\alpha$	27-nov. <sup>c</sup> $\alpha$	29-nov. <sup>cd</sup> $\alpha$
MC19	21-abr. <sup>c</sup> $\alpha$	24-abr. <sup>c</sup> $\alpha$	3-jun. <sup>c</sup> $\alpha$	4-jun. <sup>b</sup> $\alpha$	4-ago. <sup>b</sup> $\alpha$	6-ago. <sup>b</sup> $\alpha$	29-ago. <sup>a</sup> $\alpha$	5-sep. <sup>b</sup> $\alpha$	30-oct. <sup>d</sup> $\alpha$	27-oct. <sup>cd</sup> $\alpha$	3-dic. <sup>d</sup> $\alpha$	2-dic. <sup>cd</sup> $\alpha$
MC72	12-abr. <sup>a</sup> $\alpha$	12-abr. <sup>a</sup> $\alpha$	27-may. <sup>a</sup> $\alpha$	28-may. <sup>a</sup> $\alpha$	1-ago. <sup>a</sup> $\alpha$	2-ago. <sup>a</sup> $\alpha$	26-ago. <sup>a</sup> $\alpha$	25-ago. <sup>a</sup> $\alpha$	8-nov. <sup>e</sup> $\alpha$	6-nov. <sup>e</sup> $\alpha$	6-dic. <sup>d</sup> $\alpha$	5-dic. <sup>d</sup> $\alpha$
MC80	19-abr. <sup>bc</sup> $\alpha$	19-abr. <sup>bc</sup> $\alpha$	1-jun. <sup>bc</sup> $\alpha$	1-jun. <sup>ab</sup> $\alpha$	12-ago. <sup>d</sup> $\beta$	10-ago. <sup>c</sup> $\alpha$	13-sep. <sup>b</sup> $\alpha$	13-sep. <sup>c</sup> $\alpha$	3-nov. <sup>de</sup> $\alpha$	2-nov. <sup>de</sup> $\alpha$	27-nov. <sup>c</sup> $\alpha$	27-nov. <sup>c</sup> $\alpha$
MS49	16-abr. <sup>b</sup> $\alpha$	17-abr. <sup>ab</sup> $\alpha$	30-may. <sup>abc</sup> $\alpha$	1-jun. <sup>ab</sup> $\alpha$	9-ago. <sup>c</sup> $\alpha$	11-ago. <sup>c</sup> $\alpha$	9-sep. <sup>b</sup> $\alpha$	6-sep. <sup>b</sup> $\alpha$	21-oct. <sup>c</sup> $\alpha$	20-oct. <sup>bc</sup> $\alpha$	22-nov. <sup>b</sup> $\alpha$	20-nov. <sup>b</sup> $\alpha$
MS104	16-abr. <sup>b</sup> $\alpha$	16-abr. <sup>ab</sup> $\alpha$	29-may. <sup>ab</sup> $\alpha$	28-may. <sup>a</sup> $\alpha$	31-jul. <sup>a</sup> $\alpha$	2-ago. <sup>a</sup> $\alpha$	30-ago. <sup>a</sup> $\alpha$	29-ago. <sup>a</sup> $\alpha$	19-sep. <sup>a</sup> $\beta$	15-sep. <sup>a</sup> $\alpha$	9-nov. <sup>a</sup> $\alpha$	8-nov. <sup>a</sup> $\alpha$
<b>Riego (R)</b>	17-abr. <sup><math>\alpha</math></sup>	18-abr. <sup><math>\alpha</math></sup>	30-may. <sup><math>\alpha</math></sup>	31-may. <sup><math>\alpha</math></sup>	6-ago. <sup><math>\alpha</math></sup>	7-ago. <sup><math>\alpha</math></sup>	4-sep. <sup><math>\alpha</math></sup>	4-sep. <sup><math>\alpha</math></sup>	21-oct. <sup><math>\alpha</math></sup>	20-oct. <sup><math>\alpha</math></sup>	26-nov. <sup><math>\alpha</math></sup>	26-nov. <sup><math>\alpha</math></sup>
<b>Año (A)</b>												
2018	11-abr. <sup>a</sup> $\alpha$	11-abr. <sup>a</sup> $\alpha$	27-may. <sup>a</sup> $\alpha$	26-may. <sup>b</sup> $\alpha$	4-ago. <sup>a</sup> $\alpha$	6-ago. <sup>ab</sup> $\alpha$	10-sep. <sup>b</sup> $\alpha$	14-sep. <sup>c</sup> $\alpha$	-	-	-	-
2019	25-abr. <sup>c</sup> $\alpha$	27-abr. <sup>c</sup> $\alpha$	8-jun. <sup>b</sup> $\alpha$	10-jun. <sup>c</sup> $\beta$	7-ago. <sup>a</sup> $\alpha$	9-ago. <sup>b</sup> $\beta$	4-sep. <sup>ab</sup> $\alpha$	4-sep. <sup>b</sup> $\alpha$	31-oct. <sup>b</sup> $\alpha$	31-oct. <sup>b</sup> $\alpha$	30-nov. <sup>b</sup> $\alpha$	29-nov. <sup>b</sup> $\alpha$
2020	13-abr. <sup>a</sup> $\alpha$	13-abr. <sup>a</sup> $\alpha$	26-may. <sup>a</sup> $\alpha$	25-may. <sup>a</sup> $\alpha$	6-ago. <sup>a</sup> $\alpha$	5-ago. <sup>a</sup> $\alpha$	30-ago. <sup>a</sup> $\alpha$	30-ago. <sup>a</sup> $\alpha$	14-oct. <sup>a</sup> $\alpha$	12-oct. <sup>a</sup> $\alpha$	26-nov. <sup>b</sup> $\alpha$	27-nov. <sup>b</sup> $\alpha$
2021	16-abr. <sup>b</sup> $\alpha$	16-abr. <sup>b</sup> $\alpha$	27-may. <sup>a</sup> $\alpha$	28-may. <sup>b</sup> $\alpha$	6-ago. <sup>a</sup> $\alpha$	5-ago. <sup>a</sup> $\alpha$	6-sep. <sup>b</sup> $\alpha$	3-sep. <sup>b</sup> $\alpha$	18-oct. <sup>a</sup> $\alpha$	17-oct. <sup>a</sup> $\alpha$	21-nov. <sup>a</sup> $\alpha$	19-nov. <sup>a</sup> $\alpha$

Separación de medias realizadas con el test de rangos múltiples de Duncan. Para cada genotipo y año, diferentes letras en la misma columna (a-e) indican diferencias significativas entre genotipos y años, respectivamente ( $p < 0,05$ ). Para cada estado fenológico, diferentes letras en la misma fila ( $\alpha, \beta$ ) indican diferencias significativas entre tratamientos de riego (prueba de rangos múltiples de Duncan,  $p < 0,05$ ).

En 2020 se adelantó la fecha media de vendimia al 30 de agosto, siendo 2018 el año en el que finalizó la vendimia más tarde en RDC (10 de septiembre) y secano (14 de septiembre).

Por último, señalar que el periodo medio de la caída de las hojas, calculado desde la fecha de inicio hasta la caída total de las hojas (Tabla 14), fue de 36 y 37 días en RDC y secano, respectivamente. De nuevo, se observaron diferencias entre los genotipos: MS104 presentó el periodo más largo de caída de las hojas (valor medio de 52 y 54 días en RDC y secano, respectivamente), frente a MC80 que presentó el periodo más corto en RDC y secano (valor medio de 24 y 25 días, respectivamente). MS104 fue el genotipo que entró antes en reposo en RDC y secano (09 y 08 de noviembre, respectivamente) y MC72 el que entró en reposo más tarde (06 y 05 de diciembre, respectivamente).

### 3. Parámetros fisiológicos (2018-2021)

Existen numerosos indicadores fisiológicos que permiten evaluar el comportamiento y respuesta de la planta en condiciones de déficit hídrico (Deloire et al., 2004; Medrano et al., 2007). Con el fin de identificar los genotipos que muestran un mejor comportamiento bajo las condiciones semiáridas de la Región de Murcia, en esta tesis se han evaluado distintos parámetros fisiológicos relacionados tanto con el potencial hídrico de la planta como con el intercambio gaseoso y la eficiencia del uso del agua (ver Materiales y Métodos): el potencial hídrico del tallo a mediodía ( $\Psi_s$ ); la conductancia estomática ( $g_s$ ); la tasa fotosintética ( $A_N$ ); y la eficiencia intrínseca del uso del agua ( $A_N/g_s$ ). Los valores de las medidas realizadas del potencial hídrico y de los parámetros de intercambio gaseoso en 2018 figuran en el Anexo 3 (8 medidas, desde 13 de junio hasta el 25 de septiembre); en 2019 en el Anexo 5 (10 medidas, desde el 3 de junio hasta el 9 de octubre); en 2020 en el Anexo 6 (10 medidas, desde el 28 de mayo hasta el 5 de octubre); y en 2021 en el Anexo 7 (12 medidas, desde el 25 de mayo hasta el 19 de octubre). Estas medidas se han utilizado para calcular el valor medio de los distintos parámetros fisiológicos en los correspondientes periodos fenológicos: floración-cuajado, envero, vendimia y poscosecha. Los datos correspondientes al periodo fenológico de poscosecha corresponden solo a las campañas 2019, 2020 y 2021, debido a que las precipitaciones caídas tras la vendimia en el año 2018 impidieron realizar las mediciones.

#### 3.1. Potencial hídrico de la planta

En este trabajo se ha medido el potencial hídrico del tallo a mediodía ( $\Psi_s$ ), el cual refleja el estado hídrico de la planta cuando se encuentra en las condiciones más estresantes del



día, de las 12:00 a 14:00 horas. Los valores del  $\Psi_s$  obtenidos se han utilizado, además, para calcular la integral de estrés hídrico ( $S_{\Psi}$ ) que nos indica el efecto acumulativo del estrés hídrico en una planta durante un periodo determinado.

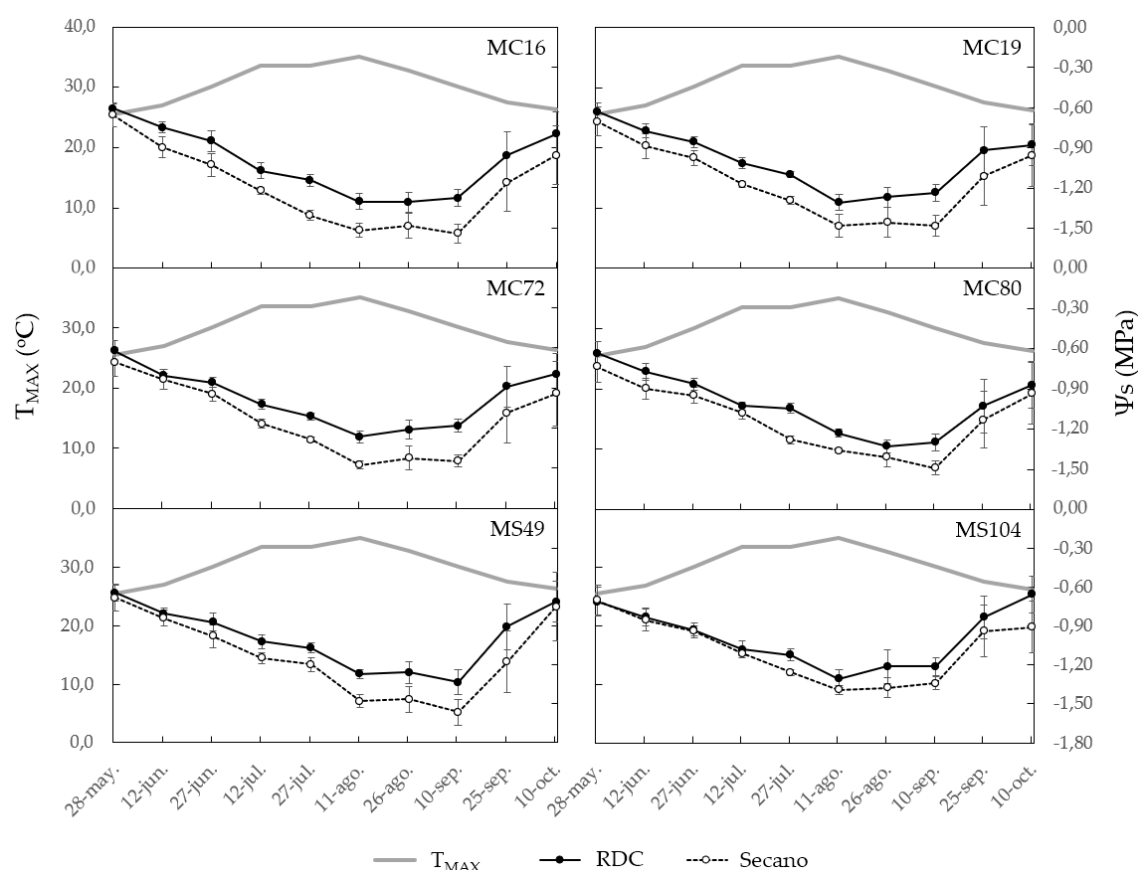
### 3.1.1. Evolución del $\Psi_s$

En la Figura 4 se representa, para cada genotipo, la evolución del  $\Psi_s$  en RDC y secano, teniendo en cuenta el valor medio del  $\Psi_s$  de los cuatro años de estudio para cada medida. En todos los genotipos y condiciones de riego se observó una disminución continua de los valores del  $\Psi_s$  a medida que aumentaban las temperaturas (Figura 4). En condiciones de RDC, los genotipos MC19, MC72 y MS104 alcanzaron el máximo estrés hídrico alrededor del 11 de agosto; MC16 y MC80 alrededor del 26 de agosto; y finalmente MS49 alrededor del 10 de septiembre. Siguiendo la clasificación descrita en Materiales y Métodos, todos los genotipos presentaron en estas fechas un estrés hídrico moderado ( $\Psi_s$  entre -1,2 y -1,4 MPa). En condiciones de secano, las fechas de máximo estrés hídrico coincidieron con las de RDC para todos los genotipos excepto para MC16 y MC80 que lo alcanzaron más tarde, alrededor del 10 de septiembre. Todos los genotipos alcanzaron un estrés hídrico severo ( $\Psi_s < -1,4$  MPa) en condiciones de secano, excepto MS104 que se mantuvo en un estrés hídrico moderado ( $\Psi_s$  entre -1,2 y -1,4 MPa). En general, los valores mínimos del  $\Psi_s$  se alcanzaron entre finales del invierno (11 de agosto) y la vendimia (26 de agosto y 10 de septiembre), tanto en RDC como en secano (Figura 4). En ambos tratamientos de riego, los genotipos con una maduración más temprana (MC19, MC72 y MS104) alcanzaron su pico de máximo estrés hídrico (11 de agosto) antes que los genotipos con una maduración más tardía (MC16, MC80 y MS49). Como se puede apreciar en la Figura 4, en el periodo de máximo estrés hídrico, las diferencias del potencial alcanzado entre tratamientos de riego fueron menos acusadas en los genotipos MC80 y MS104.

Tras este periodo de máximo estrés hídrico, se apreció una recuperación del  $\Psi_s$  en RDC y secano, coincidiendo con una disminución de la temperatura del aire y con la aplicación de los correspondientes riegos de apoyo y las precipitaciones caídas durante los meses de agosto y septiembre (Figura 3). Los riegos de apoyo se aplicaron durante el mes de agosto con el fin de evitar que los genotipos cultivados en secano sobrepasaran el umbral de -1,6 MPa, siguiendo las recomendaciones de Charrier et al. (2016) y Gambetta et al. (2020).

En la Tabla 15 se muestran los valores medios del  $\Psi_s$  obtenidos para cada genotipo, tratamiento de riego y año, durante los periodos fenológicos de floración-cuajado, invierno, vendimia y poscosecha, así como las diferencias estadísticamente significativas encontradas a nivel de genotipos (G), tratamientos de riego (R), años de estudio (A), y sus interacciones (G x R; G x A; R x A; G x R x A). En general, los valores del  $\Psi_s$  variaron

significativamente ( $p < 0,001$ ) entre R y A, durante todos los periodos fenológicos, mientras que solo variaron significativamente entre G en los periodos fenológicos de invierno ( $p < 0,05$ ) y vendimia ( $p < 0,001$ ). No se encontraron diferencias significativas para ninguna de las interacción entre los distintos factores, a excepción de la interacción R x A en el periodo de poscosecha ( $p < 0,001$ ).



**Figura 4. Evolución del potencial hídrico del tallo ( $\Psi_s$ ) para cada genotipo y tratamiento de riego.**

Se representan los valores medios de 2018, 2019, 2020 y 2021 para cada medida y genotipo. RDC, riego deficitario controlado;  $T_{MAX}$ , temperatura máxima media del aire. Las barras verticales representan el error estándar.

Siguiendo la clasificación descrita en Material y Métodos, y teniendo en cuenta el valor medio del  $\Psi_s$ , durante el periodo de floración y cuajado del fruto no se produjo estrés hídrico en RDC ( $\Psi_s > -1,0$  MPa) y solo se apreció un ligero estrés medio en secano en el genotipo MC16 ( $\Psi_s = -1,03$  MPa). El valor medio del  $\Psi_s$  disminuyó significativamente un 13% en secano, respecto de RDC (Tabla 15). No se observaron diferencias significativas entre genotipos ni en RDC ni en secano, aunque sí se observaron diferencias significativas entre tratamientos de riego, siendo MC16 el genotipo más afectado, con una reducción de su  $\Psi_s$  en secano del 18%, respecto de RDC, frente al 3% (no significativo) de MS104. En 2020 el  $\Psi_s$  medio se vio más afectado por el tratamiento de riego, con una reducción en secano del 16%, respecto de RDC, frente al 5% (no significativo) en 2018.

Tabla 15. Datos medios del potencial hídrico del tallo ( $\Psi_s$ ) durante distintos periodos fenológicos.

Genotipo (G)	$\Psi_s$ (MPa)							
	Floración - Cuajado		Envero		Vendimia		Poscosecha	
	RDC	Secano	RDC	Secano	RDC	Secano	RDC	Secano
MC16	-0,87 <sup>a</sup> $\beta$	-1,03 <sup>a</sup> $\alpha$	-1,26 <sup>a</sup> $\beta$	-1,50 <sup>a</sup> $\alpha$	-1,26 <sup>a</sup> $\beta$	-1,49 <sup>a</sup> $\alpha$	-0,77 <sup>ab</sup> $\alpha$	-0,93 <sup>a</sup> $\alpha$
MC19	-0,86 <sup>a</sup> $\beta$	-0,99 <sup>a</sup> $\alpha$	-1,27 <sup>a</sup> $\beta$	-1,43 <sup>abc</sup> $\alpha$	-1,21 <sup>ab</sup> $\beta$	-1,41 <sup>a</sup> $\alpha$	-0,82 <sup>ab</sup> $\alpha$	-0,91 <sup>a</sup> $\alpha$
MC72	-0,88 <sup>a</sup> $\beta$	-0,99 <sup>a</sup> $\alpha$	-1,24 <sup>a</sup> $\beta$	-1,42 <sup>bcd</sup> $\alpha$	-1,15 <sup>b</sup> $\beta$	-1,41 <sup>a</sup> $\alpha$	-0,79 <sup>ab</sup> $\alpha$	-0,89 <sup>a</sup> $\alpha$
MC80	-0,87 <sup>a</sup> $\beta$	-0,98 <sup>a</sup> $\alpha$	-1,23 <sup>a</sup> $\beta$	-1,38 <sup>cd</sup> $\alpha$	-1,30 <sup>a</sup> $\beta$	-1,43 <sup>a</sup> $\alpha$	-0,86 <sup>a</sup> $\alpha$	-0,94 <sup>a</sup> $\alpha$
MS49	-0,87 <sup>a</sup> $\beta$	-0,98 <sup>a</sup> $\alpha$	-1,25 <sup>a</sup> $\beta$	-1,46 <sup>ab</sup> $\alpha$	-1,27 <sup>a</sup> $\beta$	-1,50 <sup>a</sup> $\alpha$	-0,72 <sup>ab</sup> $\alpha$	-0,91 <sup>a</sup> $\alpha$
MS104	-0,93 <sup>a</sup> $\alpha$	-0,96 <sup>a</sup> $\alpha$	-1,24 <sup>a</sup> $\beta$	-1,35 <sup>d</sup> $\alpha$	-1,16 <sup>b</sup> $\beta$	-1,30 <sup>b</sup> $\alpha$	-0,66 <sup>b</sup> $\alpha$	-0,74 <sup>a</sup> $\alpha$
<b>Riego (R)</b>	-0,88 <sup><math>\beta</math></sup>	-0,99 <sup><math>\alpha</math></sup>	-1,25 <sup><math>\beta</math></sup>	-1,43 <sup><math>\alpha</math></sup>	-1,22 <sup><math>\beta</math></sup>	-1,42 <sup><math>\alpha</math></sup>	-0,77 <sup><math>\beta</math></sup>	-0,89 <sup><math>\alpha</math></sup>
<b>Año (A)</b>								
2018	-0,98 <sup>a</sup> $\alpha$	-1,03 <sup>a</sup> $\alpha$	-1,34 <sup>a</sup> $\beta$	-1,53 <sup>a</sup> $\alpha$	-1,28 <sup>a</sup> $\beta$	-1,52 <sup>a</sup> $\alpha$	-	-
2019	-0,89 <sup>b</sup> $\beta$	-1,01 <sup>a</sup> $\alpha$	-1,24 <sup>bc</sup> $\beta$	-1,40 <sup>b</sup> $\alpha$	-1,29 <sup>a</sup> $\beta$	-1,47 <sup>ab</sup> $\alpha$	-0,46 <sup>c</sup> $\alpha$	-0,48 <sup>c</sup> $\alpha$
2020	-0,90 <sup>b</sup> $\beta$	-1,04 <sup>a</sup> $\alpha$	-1,19 <sup>c</sup> $\beta$	-1,33 <sup>c</sup> $\alpha$	-1,07 <sup>b</sup> $\beta$	-1,26 <sup>c</sup> $\alpha$	-1,03 <sup>a</sup> $\beta$	-1,24 <sup>a</sup> $\alpha$
2021	-0,80 <sup>c</sup> $\beta$	-0,90 <sup>b</sup> $\alpha$	-1,27 <sup>b</sup> $\beta$	-1,48 <sup>a</sup> $\alpha$	-1,24 <sup>a</sup> $\beta$	-1,44 <sup>b</sup> $\alpha$	-0,97 <sup>b</sup> $\beta$	-1,16 <sup>b</sup> $\alpha$
<b>ANOVA</b>	Floración - Cuajado		Envero		Vendimia		Poscosecha	
G	ns		*		***		ns	
R	***		***		***		***	
A	***		***		***		***	
G x R	ns		ns		ns		ns	
G x A	ns		ns		ns		ns	
R x A	ns		ns		ns		***	
G x R x A	ns		ns		ns		ns	

RDC, riego deficitario controlado. Separación de medias realizadas con el test de rangos múltiples de Duncan. Para cada genotipo y año, diferentes letras en la misma columna (a-d) indican diferencias significativas entre genotipos y años, respectivamente ( $p < 0,05$ ). Para cada periodo fenológico, diferentes letras en la misma fila ( $\alpha, \beta$ ) indican diferencias significativas entre tratamientos de riego (prueba de rangos múltiples de Duncan,  $p < 0,05$ ). Análisis de varianza múltiple (ANOVA de tres vías) por genotipo (G), tratamiento de riego (R), año (A) y sus interacciones: ns, no significativo; \* $p < 0,05$ ; \*\* $p < 0,01$ ; \*\*\* $p < 0,001$ .

El valor medio del potencial hídrico disminuyó en envero, respecto a la fase inicial de floración-cuajado, un 42% en RDC y un 44% en secano (Tabla 15). Esta disminución del  $\Psi_s$  se reflejó en un aumento del estrés hídrico durante el envero, pasando a un estrés moderado en RDC ( $\Psi_s = -1,25$  MPa) y a un estrés severo en secano ( $\Psi_s = -1,43$  MPa). En condiciones de RDC, el  $\Psi_s$  osciló entre -1,23 MPa de MC80 y -1,27 MPa de MC19, sufriendo todos los genotipos un estrés hídrico moderado. Por otro lado, en secano el  $\Psi_s$  osciló entre -1,35 MPa de MS104 (estrés hídrico moderado) y -1,50 MPa de MC16 (estrés hídrico severo). Las mayores diferencias significativas entre tratamientos de riego se dieron en MC16, MC72 y MS49, que disminuyeron su  $\Psi_s$  en secano un 19%, 15% y 17%, respectivamente, pasando de un estrés hídrico moderado en RDC a un estrés severo en secano (Tabla 15). Por el contrario, los genotipos MC80 y MS104 mantuvieron un estrés hídrico moderado en RDC ( $\Psi_s = -1,23$  y -1,24 MPa, respectivamente) y secano ( $\Psi_s = -1,38$  y -1,35 MPa, respectivamente), reduciendo su  $\Psi_s$  en secano solo un 12% en MC80 y un 9% en MS104 (Tabla 15). El mayor estrés hídrico se produjo en 2018, con un estrés hídrico moderado en RDC y severo en secano. En 2021 el  $\Psi_s$  medio se vio más afectado por el

tratamiento de riego, con una reducción en secano del 17%, respecto de RDC, frente al 12% en 2020.

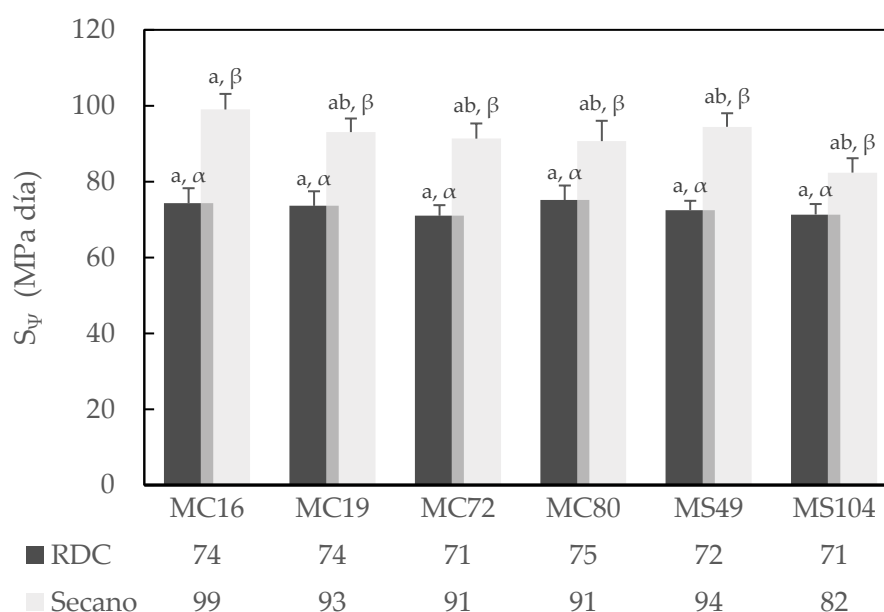
En vendimia, se mantuvo de media un estrés hídrico moderado en RDC ( $\Psi_s = -1,22$  MPa), y un estrés severo en secano ( $-1,42$  MPa), al igual que en envero. En condiciones de RDC, el  $\Psi_s$  osciló entre  $-1,15$  MPa de MC72 (estrés hídrico medio) y  $-1,30$  MPa de MC80 (estrés hídrico moderado). Por otro lado, en secano el  $\Psi_s$  osciló entre  $-1,30$  MPa de MS104 (estrés hídrico moderado) y  $-1,50$  MPa de MS49 (estrés hídrico severo). Las mayores diferencias significativas entre tratamientos de riego en este periodo se dieron de nuevo en MC16, MC72 y MS49 que disminuyeron su  $\Psi_s$  en secano un 18%, 23% y 18%, respectivamente. MC16 y MS49 pasaron de un estrés hídrico moderado en RDC a un estrés fuerte en secano, mientras que MC72 pasó de un estrés hídrico medio en RDC a un estrés fuerte en secano (Tabla 15). De nuevo, MC80 y MS104 fueron los genotipos que presentaron las menores diferencias significativas entre tratamientos de riego, disminuyendo su  $\Psi_s$  en secano solo un 10% y 12%, respectivamente. Teniendo en cuenta los valores medios de los 6 genotipos, en vendimia se produjeron las mayores diferencias significativas entre RDC y secano, reduciéndose el valor medio del  $\Psi_s$  en secano un 16%. El mayor estrés hídrico en RDC se produjo en 2019, con un estrés hídrico moderado, y en 2018 en secano, con un estrés hídrico severo. En 2018 el  $\Psi_s$  medio se vio más afectado por el tratamiento de riego, con una reducción en secano del 19%, respecto de RDC, frente al 14% en 2019.

Teniendo en cuenta la fecha de maduración de los genotipos (Tabla 14), si comparamos los valores registrados del  $\Psi_s$  entre envero y vendimia, que corresponden con el periodo de máximo estrés hídrico en ambas condiciones de riego, se observaron distintos comportamientos. Los genotipos MC80 y MS49 presentaron una maduración a mediados de septiembre y su máximo estrés hídrico se registró durante el periodo de vendimia (Tabla 15). Este comportamiento no se observó en el genotipo MC16, que también presentó una maduración a mediados de septiembre, pero que alcanzó su máximo estrés hídrico en envero y lo mantuvo hasta la vendimia. Por otro lado, los genotipos de maduración más temprana MC19, MC72 y MS104 (se vendimiaron entre finales de agosto y principios de septiembre) registraron su mayor estrés hídrico durante el periodo de envero.

El valor medio del potencial hídrico aumentó en poscosecha, respecto a la fase de vendimia, un 37% en RDC y en secano. Este incremento del  $\Psi_s$  se reflejó en la recuperación hídrica de las plantas, de manera que ningún genotipo presentó estrés hídrico ni en RDC (valor medio  $\Psi_s = -0,77$  MPa) ni en secano (valor medio  $\Psi_s = -0,89$  MPa). Esta recuperación del potencial hídrico se debió posiblemente al descenso de las temperaturas y a las precipitaciones recogidas en este periodo (Figura 3). El valor medio del  $\Psi_s$  disminuyó significativamente un 16% en secano, respecto de RDC (Tabla 15). Los datos del  $\Psi_s$  tan bajos en 2019 se debieron a la DANA que tuvo lugar durante el mes de septiembre y que

dejó un total de precipitaciones de 144 mm del 11 al 14 septiembre. En 2020 y 2021 se produjo una reducción del  $\Psi_s$  en secano, respecto de RDC, del 20% en ambos años, siendo 2020 el año con mayor estrés hídrico en secano (estrés hídrico moderado) en esta etapa fenológica.

En la Figura 5 se representa el efecto acumulativo del estrés hídrico, para cada genotipo y tratamiento de riego, calculado como la integral de estrés hídrico ( $S_\Psi$ ) a partir de los datos del  $\Psi_s$  de los cuatro años de estudio (Fernández-López et al., 2022). Los valores de la  $S_\Psi$  variaron significativamente entre las condiciones de riego, con un valor promedio de 73 MPa día en RDC que incrementó significativamente un 26% en secano hasta alcanzar 92 MPa día. Este incremento varió entre genotipos: MC16 presentó el mayor incremento (34%), mientras que MS104 tuvo el menor incremento (16%). Los resultados confirman que el efecto acumulativo del estrés hídrico es superior en secano, manteniendo las vides un mejor estado hídrico en RDC. Las diferencias entre los genotipos fueron estadísticamente significativas solo bajo condiciones de secano, variando desde el valor más bajo alcanzado por MS104 (82 MPa día) hasta el valor más alto alcanzado por MC16 (99 MPa día).



**Figura 5. Valores medios de la integral de estrés hídrico anual ( $S_\Psi$ ) para cada genotipo y tratamiento de riego.**

Las barras verticales representan el error estándar. RDC, riego deficitario controlado. Para cada tratamiento de riego, diferentes letras (a-b) indican diferencias significativas entre genotipos (prueba de rangos múltiples de Duncan,  $p < 0,05$ ). Para cada genotipo, diferentes letras ( $\alpha$ ,  $\beta$ ) indican diferencias significativas entre tratamientos de riego (prueba de rangos múltiples de Duncan,  $p < 0,05$ ).

### 3.2. Intercambio gaseoso

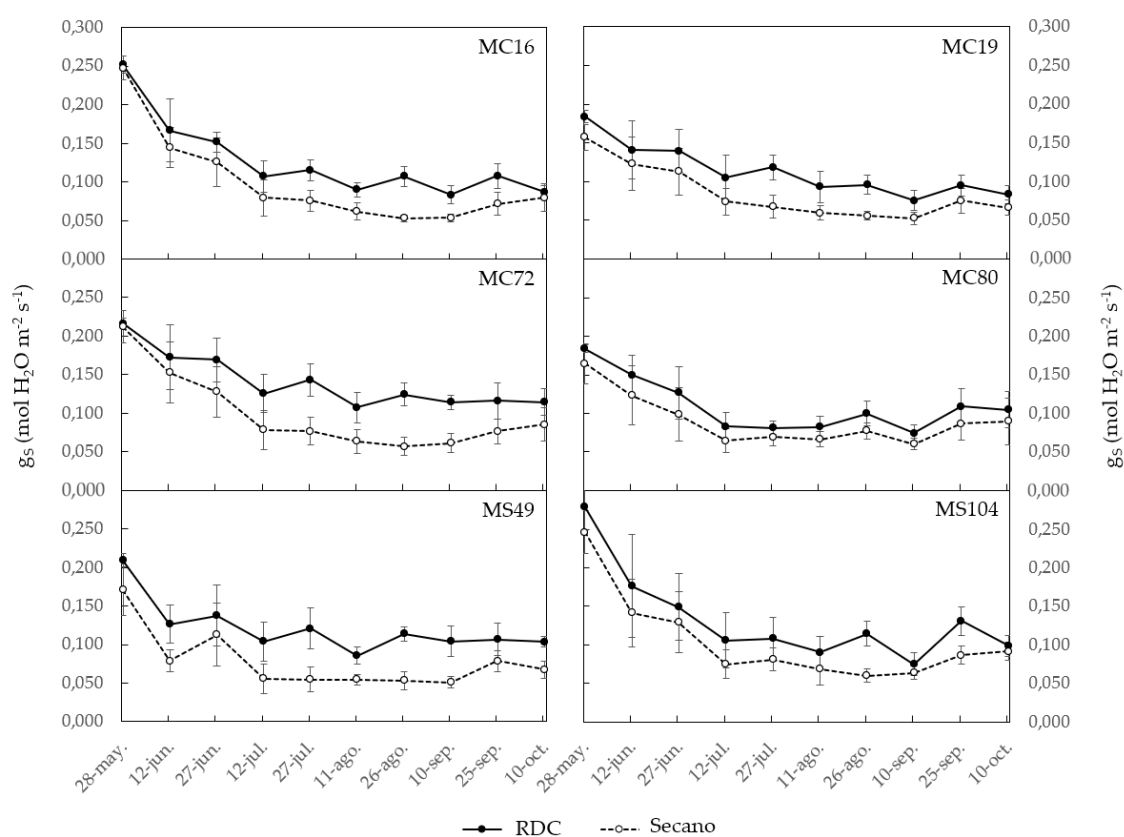
Durante los distintos años del estudio, se tomaron medidas a lo largo del ciclo vegetativo de la conductancia estomática ( $g_s$ ), la tasa fotosintética ( $A_N$ ) y la eficiencia intrínseca del uso del agua ( $A_N/g_s$ ); los valores obtenidos en las distintas fechas en las que se realizaron las medidas se muestran en los Anexos 3, 5, 6 y 7. Con estos datos, se han elaborado las Figuras 6, 7 y 8, en las que se representa la evolución media de la  $g_s$ ,  $A_N$ , y  $A_N/g_s$ , para cada genotipo y tratamiento de riego. En las Tablas 16, 17 y 18 se muestra el promedio de estos parámetros durante los periodos fenológicos de floración-cuajado, envero, vendimia y poscosecha, para cada genotipo, tratamiento de riego y año de estudio, así como las diferencias estadísticamente significativas encontradas a nivel de genotipos (G), tratamientos de riego (R), años de estudio (A), y sus interacciones (G x R; G x A; R x A; G x R x A). En general, para todos los parámetros se observaron diferencias significativas entre G, R y A, aunque la interacción entre estos factores fue poco significativa (Tablas 16, 17 y 18).

#### 3.2.1. Conductancia estomática ( $g_s$ )

Si observamos la evolución media de la  $g_s$  de cada genotipo y tratamiento de riego (Figura 6), se aprecia que los valores en RDC fueron superiores a los de secano en todos los genotipos, aunque en el caso de MC80 y MS104 estas diferencias fueron menores, y mayores en MS49 y MC72. El valor medio más elevado de  $g_s$  se registró en la primera medida (finales de mayo); este valor fue disminuyendo con el transcurso de los meses, siendo la reducción más acusada en secano. Para la mayoría de los genotipos, los valores más bajos de  $g_s$  se registraron en los meses de agosto y principios de septiembre, experimentando una leve recuperación a finales del mes de septiembre (Figura 6). Esta recuperación probablemente se debió a que las plantas se encontraban en condiciones hídricas menos estresantes, por las precipitaciones registradas en este mes, y con temperaturas más suaves que ocasionaron un menor estrés a las plantas (Figura 3).

En el periodo de floración y cuajado (Tabla 16), la  $g_s$  fue significativamente inferior (un 20%) en secano (valor medio  $0,122 \text{ mol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ ), respecto a RDC (valor medio  $0,153 \text{ mol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ ). Atendiendo a la clasificación propuesta en Material y Métodos (Tabla 5), en RDC las plantas sufrieron un estrés medio moderado con valores de  $g_s$  que oscilaron entre los  $0,130 \text{ mol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$  de MC80 (estrés moderado) y los  $0,172 \text{ mol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$  de MC72 (sin estrés); en secano, tuvieron un estrés medio moderado con valores de  $g_s$  que oscilaron entre los  $0,098 \text{ mol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$  de MS49 (estrés fuerte) y los  $0,139 \text{ mol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$  de MC16 y MS104 (estrés moderado). Los genotipos MC16, MC72, MS104 mantuvieron su valor de  $g_s$  por encima del valor medio y MC19, MC80 y MS49 por debajo del valor medio, tanto en RDC como en secano (Tabla 16). Si comparamos los valores entre tratamientos de riego, la mayor reducción en secano de la  $g_s$ , respecto a RDC, se dio en

MS49 (31%) y la menor diferencia en MC16 (14%). Cuando comparamos los valores medios entre años, las mayores diferencias entre tratamientos de riego se dieron en el año 2020 (38%), frente al año 2019 en el que no se produjeron diferencias significativas (10%). El mayor estrés se dio en 2018 tanto en RDC como en secano (estrés fuerte), frente a 2021 en el que no se produjo estrés ni en RDC ni en secano.



**Figura 6. Evolución media de la conductancia estomática ( $g_s$ ) para cada genotipo y tratamiento de riego.** Para cada medida, se representan los valores medios de 2018, 2019, 2020 y 2021. Las barras verticales representan el error estándar. RDC, riego deficitario controlado.

La  $g_s$  media disminuyó en el periodo de envero, respecto a los valores durante floración y cuajado, hasta un 37% en RDC ( $0,096 \text{ mol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ ) y un 50% en secano ( $0,061 \text{ mol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ ), pasando a un estrés fuerte en RDC y secano ( $g_s$  entre  $0,120$  y  $0,050 \text{ mol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ ). No obstante, aunque los valores medios en ambos tratamientos de riego estuvieron dentro del rango de estrés fuerte, el valor medio en RDC fue un 36% superior al de secano, presentando este último tratamiento un valor medio próximo a estrés severo ( $g_s < 0,050 \text{ mol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ ). En RDC, los valores oscilaron entre los  $0,083 \text{ mol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$  de MC80 y los  $0,110 \text{ mol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$  de MC72. En secano, los valores oscilaron entre los  $0,051 \text{ mol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$  de MS49 y los  $0,068 \text{ mol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$  de MC72 (Tabla 16). Durante esta etapa fenológica, las mayores diferencias entre tratamientos de riego se dieron de nuevo en el año 2020 (40%), frente al año 2018 en el que se produjeron las menores diferencias

significativas (34%). El mayor estrés se dio de nuevo en 2018 tanto en RDC (estrés fuerte) como en secano (estrés severo), frente al menor estrés de 2020 en RDC (estrés moderado) y en secano (estrés fuerte).

Tabla 16. Datos medios de la conductancia estomática ( $g_s$ ) durante distintos periodos fenológicos.

Genotipo (G)	$g_s$ (mol H <sub>2</sub> O m <sup>-2</sup> s <sup>-1</sup> )							
	Floración - Cuajado		Envero		Vendimia		Poscosecha	
	RDC	Secano	RDC	Secano	RDC	Secano	RDC	Secano
MC16	0,161 <sup>bc</sup> $\alpha$	0,139 <sup>b</sup> $\alpha$	0,095 <sup>ab</sup> $\beta$	0,057 <sup>ab</sup> $\alpha$	0,093 <sup>a</sup> $\beta$	0,053 <sup>ab</sup> $\alpha$	0,103 <sup>ab</sup> $\beta$	0,076 <sup>a</sup> $\alpha$
MC19	0,140 <sup>ab</sup> $\beta$	0,115 <sup>ab</sup> $\alpha$	0,100 <sup>ab</sup> $\beta$	0,062 <sup>ab</sup> $\alpha$	0,082 <sup>a</sup> $\beta$	0,052 <sup>a</sup> $\alpha$	0,088 <sup>a</sup> $\alpha$	0,076 <sup>a</sup> $\alpha$
MC72	0,172 <sup>c</sup> $\beta$	0,136 <sup>b</sup> $\alpha$	0,110 <sup>b</sup> $\beta$	0,068 <sup>b</sup> $\alpha$	0,116 <sup>b</sup> $\beta$	0,060 <sup>ab</sup> $\alpha$	0,124 <sup>b</sup> $\beta$	0,091 <sup>ab</sup> $\alpha$
MC80	0,130 <sup>a</sup> $\alpha$	0,107 <sup>a</sup> $\alpha$	0,083 <sup>a</sup> $\beta$	0,062 <sup>ab</sup> $\alpha$	0,086 <sup>a</sup> $\alpha$	0,067 <sup>b</sup> $\alpha$	0,116 <sup>b</sup> $\alpha$	0,103 <sup>b</sup> $\alpha$
MS49	0,143 <sup>ab</sup> $\beta$	0,098 <sup>a</sup> $\alpha$	0,093 <sup>ab</sup> $\beta$	0,051 <sup>a</sup> $\alpha$	0,101 <sup>ab</sup> $\beta$	0,054 <sup>ab</sup> $\alpha$	0,111 <sup>ab</sup> $\beta$	0,079 <sup>a</sup> $\alpha$
MS104	0,170 <sup>c</sup> $\alpha$	0,139 <sup>b</sup> $\alpha$	0,094 <sup>ab</sup> $\beta$	0,062 <sup>ab</sup> $\alpha$	0,096 <sup>a</sup> $\beta$	0,062 <sup>ab</sup> $\alpha$	0,109 <sup>ab</sup> $\alpha$	0,106 <sup>b</sup> $\alpha$
<b>Riego (R)</b>	0,153 <sup><math>\beta</math></sup>	0,122 <sup><math>\alpha</math></sup>	0,096 <sup><math>\beta</math></sup>	0,061 <sup><math>\alpha</math></sup>	0,096 <sup><math>\beta</math></sup>	0,058 <sup><math>\alpha</math></sup>	0,109 <sup><math>\beta</math></sup>	0,087 <sup><math>\alpha</math></sup>
<b>Año (A)</b>								
2018	0,103 <sup>a</sup> $\beta$	0,085 <sup>a</sup> $\alpha$	0,061 <sup>a</sup> $\beta$	0,040 <sup>a</sup> $\alpha$	0,088 <sup>b</sup> $\beta$	0,054 <sup>a</sup> $\alpha$	-	-
2019	0,118 <sup>a</sup> $\alpha$	0,106 <sup>b</sup> $\alpha$	0,072 <sup>a</sup> $\beta$	0,044 <sup>a</sup> $\alpha$	0,099 <sup>b</sup> $\beta$	0,055 <sup>a</sup> $\alpha$	0,128 <sup>c</sup> $\beta$	0,111 <sup>b</sup> $\alpha$
2020	0,152 <sup>b</sup> $\beta$	0,094 <sup>ab</sup> $\alpha$	0,129 <sup>c</sup> $\beta$	0,078 <sup>c</sup> $\alpha$	0,126 <sup>c</sup> $\beta$	0,074 <sup>b</sup> $\alpha$	0,106 <sup>b</sup> $\beta$	0,074 <sup>a</sup> $\alpha$
2021	0,210 <sup>c</sup> $\beta$	0,178 <sup>c</sup> $\alpha$	0,100 <sup>b</sup> $\beta$	0,065 <sup>b</sup> $\alpha$	0,073 <sup>a</sup> $\beta$	0,047 <sup>a</sup> $\alpha$	0,084 <sup>a</sup> $\beta$	0,064 <sup>a</sup> $\alpha$
<b>ANOVA</b>	Floración - Cuajado		Envero		Vendimia		Poscosecha	
G	***		***		**		***	
R	***		***		***		***	
A	***		***		***		***	
G x R	ns		ns		*		ns	
G x A	ns		**		*		***	
R x A	**		*		*		ns	
G x R x A	ns		ns		ns		ns	

RDC, riego deficitario controlado. Separación de medias realizadas con el test de rangos múltiples de Duncan. Para cada genotipo y año, diferentes letras en la misma columna (a-c) indican diferencias significativas entre genotipos y años, respectivamente ( $p < 0,05$ ). Para cada periodo fenológico, diferentes letras en la misma fila ( $\alpha$ ,  $\beta$ ) indican diferencias significativas entre tratamientos de riego (prueba de rangos múltiples de Duncan,  $p < 0,05$ ). Análisis de varianza múltiple (ANOVA de tres vías) por genotipo (G), tratamiento de riego (R), año (A) y sus interacciones: ns, no significativo; \* $p < 0,05$ ; \*\* $p < 0,01$ ; \*\*\* $p < 0,001$ .

Durante la vendimia, en RDC se mantuvieron los valores medios de  $g_s$  alcanzados durante el envero (0,096 mol H<sub>2</sub>O m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup>) y se redujeron en secano hasta un 5% (alcanzando 0,058 mol H<sub>2</sub>O m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup>), manteniéndose un estrés fuerte en RDC y secano para todos los genotipos. En este periodo se produjo la mayor diferencia entre el valor medio en RDC y secano, siendo un 40% inferior en secano, respecto a RDC (Tabla 16). En RDC, los valores oscilaron entre los 0,082 mol H<sub>2</sub>O m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup> de MC19 y los 0,116 mol H<sub>2</sub>O m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup> de MC72 (Tabla 16). En secano, los valores oscilaron entre los 0,052 mol H<sub>2</sub>O m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup> de MC19 y los 0,067 mol H<sub>2</sub>O m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup> de MC80. La mayor reducción de la  $g_s$  en secano, respecto de RDC, la alcanzó MC72 (48%) frente al 22% (no significativo) de MC80. Durante esta etapa fenológica, las mayores diferencias entre tratamientos de riego se dieron en el año 2019 (44%), frente al año 2021 en el que se produjeron las menores diferencias significativas (36%). El mayor estrés se dio en 2021 tanto en RDC (estrés fuerte) como en secano (estrés



severo), frente al menor estrés de 2020 en RDC (estrés moderado) y en seco (estrés fuerte).

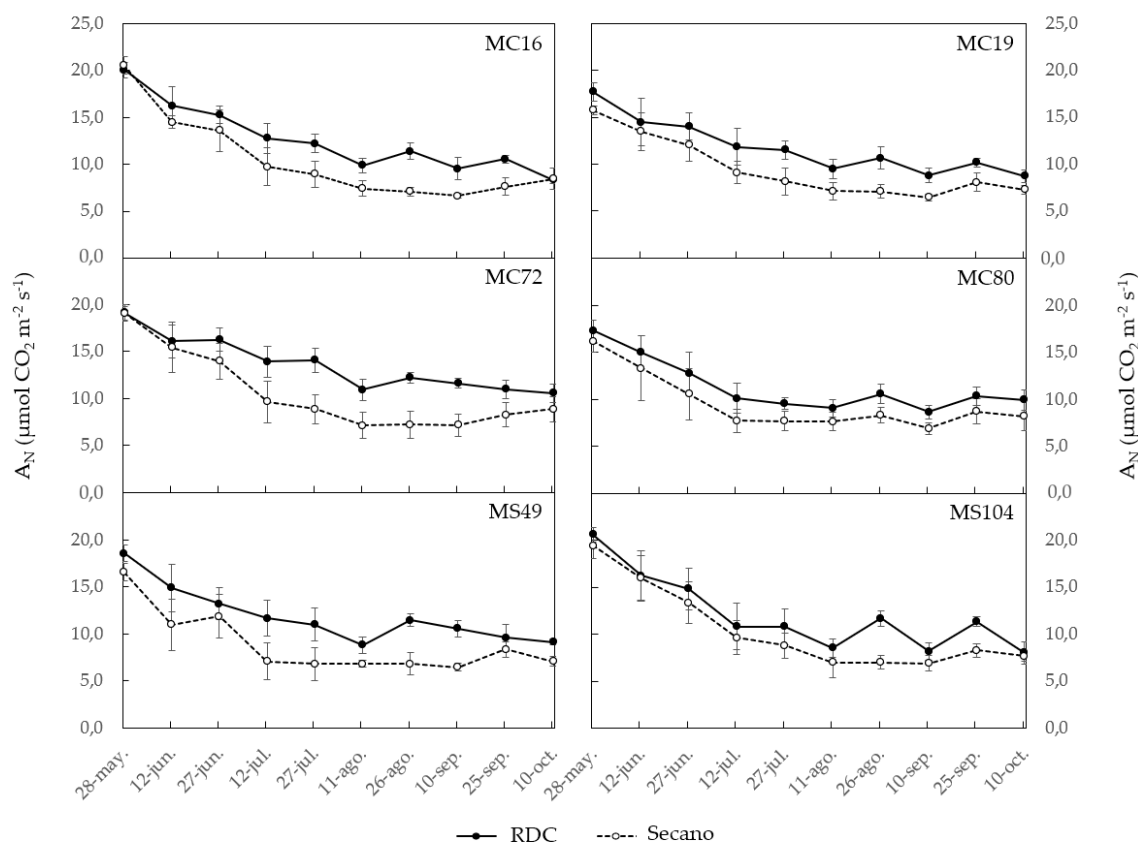
Respecto a la vendimia, los valores medios de  $g_s$  durante poscosecha aumentaron hasta un 14% en RDC (alcanzando  $0,109 \text{ mol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ ) y un 50% en seco (alcanzando  $0,087 \text{ mol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ ), manteniéndose en el rango de un estrés fuerte en ambos tratamientos de riego, aunque muy próximo a estrés moderado en RDC (Tabla 16). En esta etapa, junto con el periodo de floración y cuajado, se dan las menores diferencias significativas entre los tratamientos de riego, disminuyendo un 20% el valor medio de la  $g_s$  en seco, respecto de RDC. Solo tres genotipos presentaron diferencias estadísticamente significativas entre tratamientos de riego: MC16, MC72 y MS49 (Tabla 16), con una reducción de la  $g_s$  en seco del 26%, 27% y 29%, respectivamente. En RDC los valores de la  $g_s$  oscilaron entre los  $0,088 \text{ mol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$  de MC19 (estrés fuerte) y  $0,124 \text{ mol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$  de MC72 (estrés moderado). En seco los valores estuvieron dentro del rango de estrés fuerte, y oscilaron entre los  $0,076 \text{ mol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$  de MC16 y MC19 y los  $0,106 \text{ mol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$  de MS104. De los tres años evaluados en esta etapa fenológica, las mayores diferencias entre tratamientos de riego se dieron en el año 2020 (30%), frente al año 2019 en el que se produjeron las menores diferencias significativas (13%). El mayor estrés se dio de nuevo en 2021 tanto en RDC como en seco (estrés fuerte), frente al menor estrés de 2019 en RDC (estrés moderado) y en seco (estrés fuerte).

En estas condiciones de seco (mayor estrés hídrico), los genotipos MC72 y MS104 mantuvieron los valores más elevados de  $g_s$ , por encima del valor medio, a lo largo de todos los periodos fenológicos, junto con MC80 que los mantuvo desde envero hasta poscosecha (Tabla 16). Si tenemos en cuenta el porcentaje de  $g_s$  que se reduce en seco desde el inicio (floración-cuajado), MC80 y MS49 alcanzaron su valor más bajo de  $g_s$  en envero, con una disminución del 42% y 48%, respectivamente, recuperándose los valores ligeramente en vendimia (8% y 6%, respectivamente) y más aún en poscosecha (66% y 55%, respectivamente), al compararlos con los valores alcanzados en el envero. MS104 alcanzó su valor más bajo en envero, y lo mantuvo en vendimia, con una reducción del valor del 55%, respecto del valor inicial, recuperando un 71% en poscosecha, respecto a envero y vendimia. Por otro lado, MC16, MC19 y MC72 alcanzaron sus valores más bajos en vendimia, con una reducción desde el inicio del 62%, 55% y 56%, respectivamente, y una recuperación en poscosecha del 43%, 46% y 52%, respectivamente.

### 3.2.2. Tasa fotosintética neta ( $A_N$ )

La evolución de la  $A_N$  siguió un comportamiento similar al de la  $g_s$ , presentando valores más elevados en RDC que en seco (Figura 7). Al inicio del ensayo se registraron los valores más elevados del estudio, disminuyendo con el transcurso de los meses, y de forma más acusada en seco. En RDC los valores mínimos se alcanzaron al final del

ensayo (a principios de octubre) para la mayoría de genotipos (Figura 7), mientras que en secano los valores mínimos se alcanzaron en septiembre, durante la época de vendimia. De nuevo, a finales del mes de septiembre los genotipos experimentaron una leve recuperación de la  $A_N$  debido a las condiciones menos estresantes registradas en esta época (Figura 3). Se mantiene que los genotipos MC80 y MS104 presentaron las menores diferencias entre RDC y secano, mientras que MS49 y MC72 mostraron las mayores diferencias.



**Figura 7. Evolución media de la tasa fotosintética neta ( $A_N$ ) para cada genotipo y tratamiento de riego.**

Para cada medida, se representan los valores medios de 2018, 2019, 2020 y 2021. Las barras verticales representan el error estándar. RDC, riego deficitario controlado.

En el periodo de floración y cuajado (Tabla 17), la  $A_N$  disminuyó significativamente en secano un 15% (valor medio  $12,7 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ ) respecto a RDC (valor medio  $14,9 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ ). Con estos valores, atendiendo a la clasificación propuesta en Material y Métodos (Tabla 5), en RDC y secano las vides no sufrieron estrés ( $A_N > 12 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ ) excepto los genotipos MC80 y MS49 en secano, que presentaron un estrés moderado ( $A_N$  entre  $12-10 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ ). En RDC la  $A_N$  más baja la alcanzó MC80 ( $13,4 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ ), y la más alta MC72 ( $16,3 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ ), mientras que en secano la  $A_N$  más baja la alcanzó MS49 ( $11,0 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ ), y la más alta MC16 y MC72 ( $13,9 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ ). Si comparamos los valores entre tratamientos de riego (Tabla 17), la mayor reducción en secano de la  $A_N$ , respecto a RDC, se dio en MS49 (23%) y la menor

reducción en MS104 (9%). Al comparar los valores medios de la  $A_N$  entre años, las mayores diferencias entre tratamientos de riego se dieron en 2020 (27%), frente a los años 2018 y 2019 en los que no se observaron diferencias significativas (11% y 9%, respectivamente). Los valores medios más bajos se dieron en 2019, tanto en RDC como en secano, situándose en ambos casos en un estrés moderado. Por el contrario, en 2021 se alcanzaron los valores más altos en ambos tratamientos de riego (sin estrés).

Tabla 17. Datos medios de la tasa fotosintética ( $A_N$ ) durante distintos periodos fenológicos.

Genotipo (G)	$A_N$ ( $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ )							
	Floración - Cuajado		Envero		Vendimia		Poscosecha	
	RDC	Secano	RDC	Secano	RDC	Secano	RDC	Secano
MC16	15,6 <sup>bc</sup> $\beta$	13,9 <sup>b</sup> $\alpha$	10,9 <sup>ab</sup> $\beta$	7,5 <sup>a</sup> $\alpha$	10,2 <sup>a</sup> $\beta$	6,6 <sup>a</sup> $\alpha$	9,0 <sup>ab</sup> $\alpha$	7,8 <sup>a</sup> $\alpha$
MC19	14,2 <sup>ab</sup> $\beta$	12,4 <sup>ab</sup> $\alpha$	10,7 <sup>ab</sup> $\beta$	7,8 <sup>a</sup> $\alpha$	9,5 <sup>a</sup> $\beta$	6,5 <sup>a</sup> $\alpha$	8,9 <sup>ab</sup> $\alpha$	7,7 <sup>a</sup> $\alpha$
MC72	16,3 <sup>c</sup> $\beta$	13,9 <sup>b</sup> $\alpha$	12,0 <sup>b</sup> $\beta$	8,3 <sup>a</sup> $\alpha$	11,6 <sup>b</sup> $\beta$	7,2 <sup>a</sup> $\alpha$	10,8 <sup>c</sup> $\beta$	9,0 <sup>a</sup> $\alpha$
MC80	13,4 <sup>a</sup> $\beta$	11,3 <sup>a</sup> $\alpha$	9,8 <sup>a</sup> $\beta$	7,4 <sup>a</sup> $\alpha$	9,3 <sup>a</sup> $\beta$	7,6 <sup>a</sup> $\alpha$	10,3 <sup>bc</sup> $\beta$	8,7 <sup>a</sup> $\alpha$
MS49	14,2 <sup>ab</sup> $\beta$	11,0 <sup>a</sup> $\alpha$	10,0 <sup>a</sup> $\alpha$	6,8 <sup>a</sup> $\alpha$	10,2 <sup>a</sup> $\beta$	6,8 <sup>a</sup> $\alpha$	9,5 <sup>abc</sup> $\beta$	7,7 <sup>a</sup> $\alpha$
MS104	15,2 <sup>bc</sup> $\alpha$	13,8 <sup>b</sup> $\alpha$	9,6 <sup>a</sup> $\beta$	7,0 <sup>a</sup> $\alpha$	9,9 <sup>a</sup> $\beta$	6,9 <sup>a</sup> $\alpha$	8,6 <sup>a</sup> $\alpha$	7,9 <sup>a</sup> $\alpha$
<b>Riego (R)</b>	14,9 <sup><math>\beta</math></sup>	12,7 <sup><math>\alpha</math></sup>	10,5 <sup><math>\beta</math></sup>	7,5 <sup><math>\alpha</math></sup>	10,1 <sup><math>\beta</math></sup>	6,9 <sup><math>\alpha</math></sup>	9,6 <sup><math>\beta</math></sup>	8,1 <sup><math>\alpha</math></sup>
<b>Año (A)</b>								
2018	12,9 <sup>b</sup> $\alpha$	11,5 <sup>a</sup> $\alpha$	7,4 <sup>a</sup> $\alpha$	5,6 <sup>a</sup> $\alpha$	9,4 <sup>a</sup> $\beta$	6,3 <sup>a</sup> $\alpha$	-	-
2019	11,6 <sup>a</sup> $\alpha$	10,5 <sup>a</sup> $\alpha$	9,1 <sup>b</sup> $\beta$	6,1 <sup>a</sup> $\alpha$	10,0 <sup>a</sup> $\beta$	6,6 <sup>a</sup> $\alpha$	9,8 <sup>a</sup> $\alpha$	9,0 <sup>b</sup> $\alpha$
2020	16,3 <sup>c</sup> $\beta$	11,9 <sup>a</sup> $\alpha$	11,0 <sup>c</sup> $\beta$	7,8 <sup>b</sup> $\alpha$	11,3 <sup>b</sup> $\beta$	8,0 <sup>b</sup> $\alpha$	9,7 <sup>a</sup> $\beta$	7,6 <sup>a</sup> $\alpha$
2021	17,3 <sup>c</sup> $\beta$	15,9 <sup>ab</sup> $\alpha$	11,9 <sup>c</sup> $\beta$	8,6 <sup>b</sup> $\alpha$	10,0 <sup>a</sup> $\beta$	6,8 <sup>a</sup> $\alpha$	9,2 <sup>a</sup> $\beta$	7,5 <sup>a</sup> $\alpha$
<b>ANOVA</b>	Floración - Cuajado		Envero		Vendimia		Poscosecha	
G	***		***		ns		**	
R	***		***		***		***	
A	***		***		***		*	
G x R	ns		ns		ns		ns	
G x A	ns		ns		*		**	
R x A	***		*		ns		ns	
G x R x A	ns		ns		ns		ns	

RDC, riego deficitario controlado. Separación de medias realizadas con el test de rangos múltiples de Duncan. Para cada genotipo y año, diferentes letras en la misma columna (a-c) indican diferencias significativas entre genotipos y años, respectivamente ( $p < 0,05$ ). Para cada periodo fenológico, diferentes letras en la misma fila ( $\alpha, \beta$ ) indican diferencias significativas entre tratamientos de riego (prueba de rangos múltiples de Duncan,  $p < 0,05$ ). Análisis de varianza múltiple (ANOVA de tres vías) por genotipo (G), tratamiento de riego (R), año (A) y sus interacciones: ns, no significativo; \* $p < 0,05$ ; \*\* $p < 0,01$ ; \*\*\* $p < 0,001$ .

La  $A_N$  media disminuyó en el periodo de envero, respecto a los valores observados durante floración y cuajado, hasta un 30% en RDC (alcanzando  $10,5 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ ) y un 41% en secano (alcanzando  $7,5 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ ), pasando a tener un estrés moderado en RDC ( $A_N$  entre  $12-10 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ ) y un estrés fuerte en secano ( $A_N$  entre  $10-6 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ ). En envero no se observaron diferencias significativas entre genotipos en secano, pero sí en RDC, donde la tasa fotosintética neta más baja la alcanzó MS104 ( $9,6 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ ) que presentó un estrés fuerte ( $A_N$  entre  $10-6 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ ); y la más

alta MC72 ( $12,0 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ ) que presentó un estrés moderado. De nuevo, se observaron diferencias significativas entre los valores medios de la  $A_N$  entre RDC y secano, siendo un 29% inferior en secano respecto a RDC (Tabla 17). La mayor reducción en secano de la  $A_N$ , respecto de RDC, la alcanzó MS49 (32%) y la menor se registró en MC80 (24%). Durante esta etapa fenológica, las mayores diferencias significativas entre tratamientos de riego se observaron en 2019 (33%) y las menores en 2018 (24%, no significativas). El mayor estrés se dio en 2018, tanto en RDC (estrés fuerte) como en secano (estrés severo), frente al menor estrés alcanzado en 2021 (estrés moderado en RDC y secano).

Durante la vendimia, los valores medios de la  $A_N$  se redujeron ligeramente respecto a los valores alcanzados durante el invierno, hasta un 4% en RDC (alcanzando  $10,1 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ ) y un 8% en secano (alcanzando  $6,9 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ ), manteniéndose en un estrés fuerte en secano y un estrés moderado en RDC (Tabla 17). En este periodo, no se observaron diferencias significativas entre genotipos ni en RDC (a excepción de MC72) ni en secano, pero sí entre tratamientos de riego, con una reducción media en secano, respecto a RDC, del 32%. Los valores en RDC oscilaron entre los  $9,3 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$  de MC80 (estrés fuerte) y los  $11,6 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$  de MC72 (estrés moderado). En secano, los valores de la  $A_N$  se situaron dentro del rango de estrés fuerte. Si comparamos los valores entre tratamientos de riego, la mayor reducción en secano de la  $A_N$ , respecto de RDC, la alcanzó MC72 (38%) y la menor reducción la alcanzó MC80 (18%). Durante esta etapa fenológica, las mayores diferencias significativas entre tratamientos de riego se dieron en 2019 (34%) y las menores en 2020 (29%). El mayor estrés se observó en 2018, tanto en RDC como en secano (estrés fuerte en ambos casos), frente al menor estrés alcanzado en 2020 (estrés moderado en RDC y fuerte en secano).

Los valores medios de la  $A_N$  durante poscosecha, respecto al periodo de vendimia, aumentaron hasta un 16% en secano (alcanzando  $8,1 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ ) y disminuyeron un 5% en RDC (alcanzando  $9,6 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ ), presentando un estrés fuerte en ambos tratamientos de riego. En este periodo, de nuevo, no se observaron diferencias significativas entre genotipos en secano y sí en RDC. Los valores en RDC oscilaron entre los  $8,6 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$  de MS104 (estrés fuerte) y los  $10,8 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$  de MC72 (estrés moderado). En secano todos los genotipos alcanzaron valores dentro del rango de estrés fuerte (Tabla 17). Si comparamos los valores medios de  $A_N$  entre RDC y secano, se observaron diferencias significativas con una reducción media en secano del 16%, respecto a RDC. Al comparar los valores entre tratamientos de riego, la mayor reducción en secano de la  $A_N$ , respecto de RDC, la alcanzó MS49 (19%) y la menor se registró en MS104 (8%, no significativa). Durante esta etapa fenológica, las mayores diferencias significativas entre tratamientos de riego se dieron en 2020 (22%) y las menores en 2019 (8%, no significativa). El mayor estrés se observó en 2021, tanto en RDC como en secano (estrés

fuerte en ambos casos), frente al menor estrés alcanzado en 2019 (estrés fuerte en ambos casos).

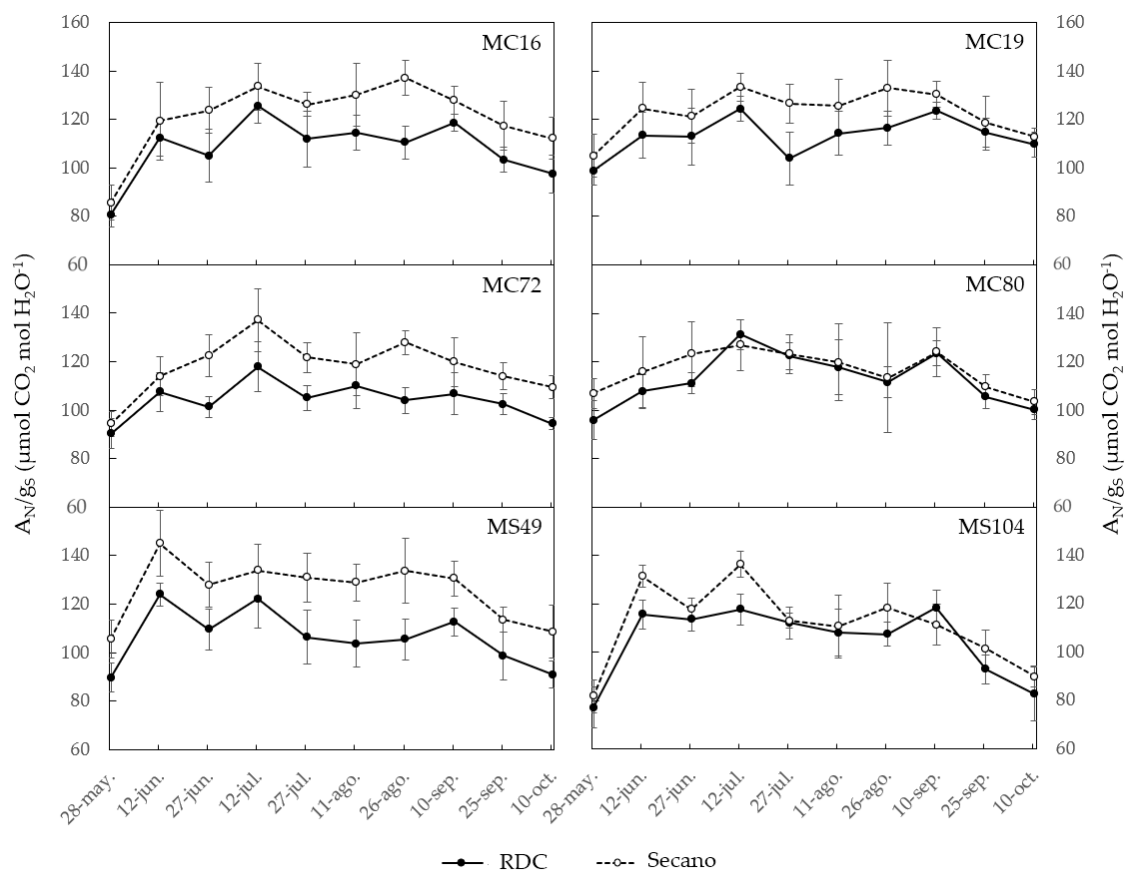
En las condiciones de secano (mayor estrés hídrico), solo el genotipo MC72 mantuvo valores de  $A_N$  por encima del valor medio durante todo el ensayo (Tabla 17). Si tenemos en cuenta el porcentaje de  $A_N$  que se reduce en secano desde el inicio (floración-cuajado), el genotipo MC80 alcanzó su valor más bajo en envero, con una reducción del 35%, recuperándose el valor en vendimia (3%) y poscosecha (18%), respecto al valor alcanzado en envero. MS49 alcanzó también su valor más bajo en envero, y lo mantuvo en vendimia, con una reducción del valor del 38%, respecto del valor inicial, recuperando un 13% en poscosecha, respecto a envero y vendimia. Por otro lado, los genotipos MC16, MC19, MC72 y MS104 alcanzaron su valor más bajo de  $A_N$  en vendimia, con una reducción desde el inicio del 53%, 48%, 48% y 50%, respectivamente, y una recuperación en poscosecha del 18%, 18%, 25% y 14%, respectivamente. Durante el periodo de máximo estrés para las vides (envero-vendimia), MC80 fue el genotipo que menos redujo en secano su  $A_N$  (media de 21%), respecto a RDC, frente a MC72 que redujo su  $A_N$  en un 35% de media.

Si atendemos al efecto del año en secano, los valores medios más bajos de  $A_N$  desde la etapa inicial se alcanzaron en envero en 2018, 2019 y 2020, con una reducción del 51%, 42% y 34%, respectivamente. En 2021 se alcanzó el valor medio más bajo en vendimia, con una reducción del 57%, respecto del inicio. Si consideramos el porcentaje de recuperación del valor medio de  $A_N$  en poscosecha, respecto del valor más bajo alcanzado, en 2019 se recuperó un 48% y en 2021 un 10% de la  $A_N$ . Por el contrario, en 2020 se recuperó un 3% en vendimia y se redujo ese mismo porcentaje en poscosecha. En 2021 se registraron los valores más elevados de la  $A_N$ , en los periodos fenológicos de floración-cuajado y envero, tanto en RDC como en secano, mientras que en 2020 los valores más elevados se registraron en vendimia.

### 3.3.3. Eficiencia intrínseca del uso del agua ( $A_N/g_s$ )

La evolución media de la eficiencia intrínseca del uso del agua ( $A_N/g_s$ ) muestra un patrón común para todos los genotipos (Figura 8), con valores más elevados en secano que en RDC, a diferencia de lo que ocurría con los anteriores parámetros de intercambio gaseoso. De nuevo, los genotipos MC80 y MS104 mostraron las diferencias más pequeñas entre los tratamientos de riego durante todo el periodo estudiado. Por el contrario, MS49, fue el genotipo que presentó las mayores diferencias entre los tratamientos de riego. Atendiendo a la clasificación propuesta en Material y Métodos (Tabla 6), en general, al inicio del ensayo, los genotipos partieron de una buena eficiencia en RDC ( $A_N/g_s$  entre 90 - 80  $\mu\text{mol CO}_2 \text{ mol H}_2\text{O}^{-1}$ ) y secano ( $A_N/g_s$  entre 120 - 100  $\mu\text{mol CO}_2 \text{ mol H}_2\text{O}^{-1}$ ) (Figura 8). En las siguientes medidas se produjo un incremento de la  $A_N/g_s$ , registrándose los valores más elevados a mediados de julio. A partir de este pico, la  $A_N/g_s$  mostró una

tendencia descendente con el transcurso del tiempo, alcanzándose los valores más bajos al final del ensayo (finales de septiembre – principios de octubre) en ambos tratamientos de riego. En RDC, todos los genotipos presentaron durante el periodo de máximo estrés una  $A_N/g_s$  alta ( $A_N/g_s > 90 \mu\text{mol CO}_2 \text{ mol H}_2\text{O}^{-1}$ ), mientras que en secano solo los genotipos MC16, MC19 y MS49 mantuvieron una alta  $A_N/g_s$  ( $A_N/g_s > 120 \mu\text{mol CO}_2 \text{ mol H}_2\text{O}^{-1}$ ) durante este periodo.



**Figura 8. Evolución media de la eficiencia intrínseca del uso del agua ( $A_N/g_s$ ) para cada genotipo y tratamiento de riego.**

Para cada medida, se representan los valores medios de 2018, 2019, 2020 y 2021. Las barras verticales representan el error estándar. RDC, riego deficitario controlado.

En el periodo de floración y cuajado (Tabla 18), no se observaron diferencias significativas entre genotipos, pero sí entre tratamientos de riego, con un valor medio en RDC de  $108 \mu\text{mol CO}_2 \text{ mol H}_2\text{O}^{-1}$  y en secano de  $119 \mu\text{mol CO}_2 \text{ mol H}_2\text{O}^{-1}$ , produciéndose un incremento en secano del 10%, respecto del RDC. MS49 presentó el mayor incremento de la  $A_N/g_s$  en secano (16%), respecto de RDC, frente al 5% de MC80, no significativo. Todos los genotipos mostraron una alta eficiencia en RDC ( $A_N/g_s > 90 \mu\text{mol CO}_2 \text{ mol H}_2\text{O}^{-1}$ ) y buena eficiencia en secano ( $A_N/g_s > 120 \mu\text{mol CO}_2 \text{ mol H}_2\text{O}^{-1}$ ). La menor  $A_N/g_s$  media se dio en 2021, en RDC y secano, y la mayor  $A_N/g_s$  media en 2018 en RDC y en 2020 en secano (Tabla 18). Solo en 2020 y 2021 se observaron diferencias significativas en

el valor medio de  $A_N/g_s$  entre tratamientos de riego, con un incremento en secano del 23% y 10%, respectivamente.

Tabla 18. Datos medios de la eficiencia intrínseca del uso del agua ( $A_N/g_s$ ) durante distintos periodos fenológicos.

Genotipo (G)	$A_N/g_s$ ( $\mu\text{mol CO}_2 \text{ mol H}_2\text{O}^{-1}$ )							
	Floración - Cuajado		Envero		Vendimia		Poscosecha	
	RDC	Secano	RDC	Secano	RDC	Secano	RDC	Secano
MC16	107 <sup>a</sup> $\alpha$	117 <sup>a</sup> $\beta$	121 <sup>a</sup> $\alpha$	141 <sup>b</sup> $\beta$	116 <sup>ab</sup> $\alpha$	129 <sup>b</sup> $\beta$	92 <sup>ab</sup> $\alpha$	110 <sup>b</sup> $\beta$
MC19	110 <sup>a</sup> $\alpha$	120 <sup>a</sup> $\beta$	118 <sup>a</sup> $\alpha$	132 <sup>ab</sup> $\beta$	123 <sup>b</sup> $\alpha$	133 <sup>b</sup> $\alpha$	107 <sup>c</sup> $\alpha$	106 <sup>b</sup> $\alpha$
MC72	103 <sup>a</sup> $\alpha$	117 <sup>a</sup> $\beta$	117 <sup>a</sup> $\alpha$	129 <sup>ab</sup> $\beta$	105 <sup>a</sup> $\alpha$	124 <sup>ab</sup> $\beta$	93 <sup>ab</sup> $\alpha$	105 <sup>b</sup> $\beta$
MC80	112 <sup>a</sup> $\alpha$	118 <sup>a</sup> $\alpha$	123 <sup>a</sup> $\alpha$	127 <sup>ab</sup> $\alpha$	118 <sup>ab</sup> $\alpha$	123 <sup>ab</sup> $\alpha$	96 <sup>bc</sup> $\alpha$	96 <sup>b</sup> $\alpha$
MS49	110 <sup>a</sup> $\alpha$	128 <sup>a</sup> $\beta$	114 <sup>a</sup> $\alpha$	142 <sup>b</sup> $\beta$	109 <sup>a</sup> $\alpha$	130 <sup>b</sup> $\beta$	90 <sup>ab</sup> $\alpha$	103 <sup>b</sup> $\beta$
MS104	106 <sup>a</sup> $\alpha$	116 <sup>a</sup> $\alpha$	113 <sup>a</sup> $\alpha$	123 <sup>a</sup> $\alpha$	111 <sup>ab</sup> $\alpha$	112 <sup>a</sup> $\alpha$	82 <sup>a</sup> $\alpha$	83 <sup>a</sup> $\alpha$
<b>Riego (R)</b>	108 <sup><math>\alpha</math></sup>	119 <sup><math>\beta</math></sup>	117 <sup><math>\alpha</math></sup>	132 <sup><math>\beta</math></sup>	113 <sup><math>\alpha</math></sup>	126 <sup><math>\beta</math></sup>	93 <sup><math>\alpha</math></sup>	101 <sup><math>\beta</math></sup>
<b>Año (A)</b>								
2018	131 <sup>c</sup> $\alpha$	137 <sup>c</sup> $\alpha$	123 <sup>b</sup> $\alpha$	140 <sup>b</sup> $\alpha$	109 <sup>b</sup> $\alpha$	120 <sup>b</sup> $\beta$	-	-
2019	112 <sup>b</sup> $\alpha$	115 <sup>b</sup> $\alpha$	133 <sup>c</sup> $\alpha$	141 <sup>b</sup> $\alpha$	105 <sup>b</sup> $\alpha$	122 <sup>b</sup> $\beta$	78 <sup>a</sup> $\alpha$	83 <sup>a</sup> $\alpha$
2020	113 <sup>b</sup> $\alpha$	139 <sup>c</sup> $\beta$	90 <sup>a</sup> $\alpha$	105 <sup>a</sup> $\beta$	93 <sup>a</sup> $\alpha$	110 <sup>a</sup> $\beta$	96 <sup>b</sup> $\alpha$	108 <sup>b</sup> $\beta$
2021	88 <sup>a</sup> $\alpha$	97 <sup>a</sup> $\beta$	124 <sup>bc</sup> $\alpha$	142 <sup>b</sup> $\beta$	146 <sup>c</sup> $\alpha$	149 <sup>c</sup> $\alpha$	113 <sup>c</sup> $\alpha$	123 <sup>c</sup> $\beta$
<b>ANOVA</b>	Floración - Cuajado		Envero		Vendimia		Poscosecha	
G	ns		**		**		***	
R	***		***		***		**	
A	***		***		***		***	
G x R	ns		ns		ns		ns	
G x A	**		***		ns		*	
R x A	***		*		*		ns	
G x R x A	ns		ns		ns		ns	

RDC, riego deficitario controlado. Separación de medias realizadas con el test de rangos múltiples de Duncan. Para cada genotipo y año, diferentes letras en la misma columna (a-c) indican diferencias significativas entre genotipos y años, respectivamente ( $p < 0,05$ ). Para cada periodo fenológico, diferentes letras en la misma fila ( $\alpha, \beta$ ) indican diferencias significativas entre tratamientos de riego (prueba de rangos múltiples de Duncan,  $p < 0,05$ ). Análisis de varianza múltiple (ANOVA de tres vías) por genotipo (G), tratamiento de riego (R), año (A) y sus interacciones: ns, no significativo; \* $p < 0,05$ ; \*\* $p < 0,01$ ; \*\*\* $p < 0,001$ .

En enero se produjo un incremento de los valores de  $A_N/g_s$ , respecto a los valores durante floración y cuajado, del 8% en RDC (alcanzando el valor de  $117 \mu\text{mol CO}_2 \text{ mol H}_2\text{O}^{-1}$ ) y del 11% en secano (alcanzando el valor de  $132 \mu\text{mol CO}_2 \text{ mol H}_2\text{O}^{-1}$ ). Durante este periodo, solo se observaron diferencias significativas entre genotipos en secano, oscilando los valores entre una  $A_N/g_s$  de  $123 \mu\text{mol CO}_2 \text{ mol H}_2\text{O}^{-1}$  de MS104, y una  $A_N/g_s$  de  $142 \mu\text{mol CO}_2 \text{ mol H}_2\text{O}^{-1}$  de MS49. En ambos tratamientos de riego, todos los genotipos presentaron una eficiencia alta. En este periodo de enero, se observaron las mayores diferencias significativas entre los valores medios de la  $A_N/g_s$  entre RDC y secano, siendo un 13% superior el valor medio en secano (Tabla 18). MS49 presentó de nuevo el mayor incremento de la  $A_N/g_s$  en secano (25%), respecto de RDC, frente al 3% de MC80,

no significativo. La menor  $A_N/g_s$  media se dio en 2020, en RDC y secano, y la mayor  $A_N/g_s$  media se dio en 2019 en RDC y en 2021 en secano (Tabla 18). Solo en 2020 y 2021 se observaron diferencias significativas en el valor medio de  $A_N/g_s$  entre tratamientos de riego, con un incremento en secano del 17% y 15%, respectivamente.

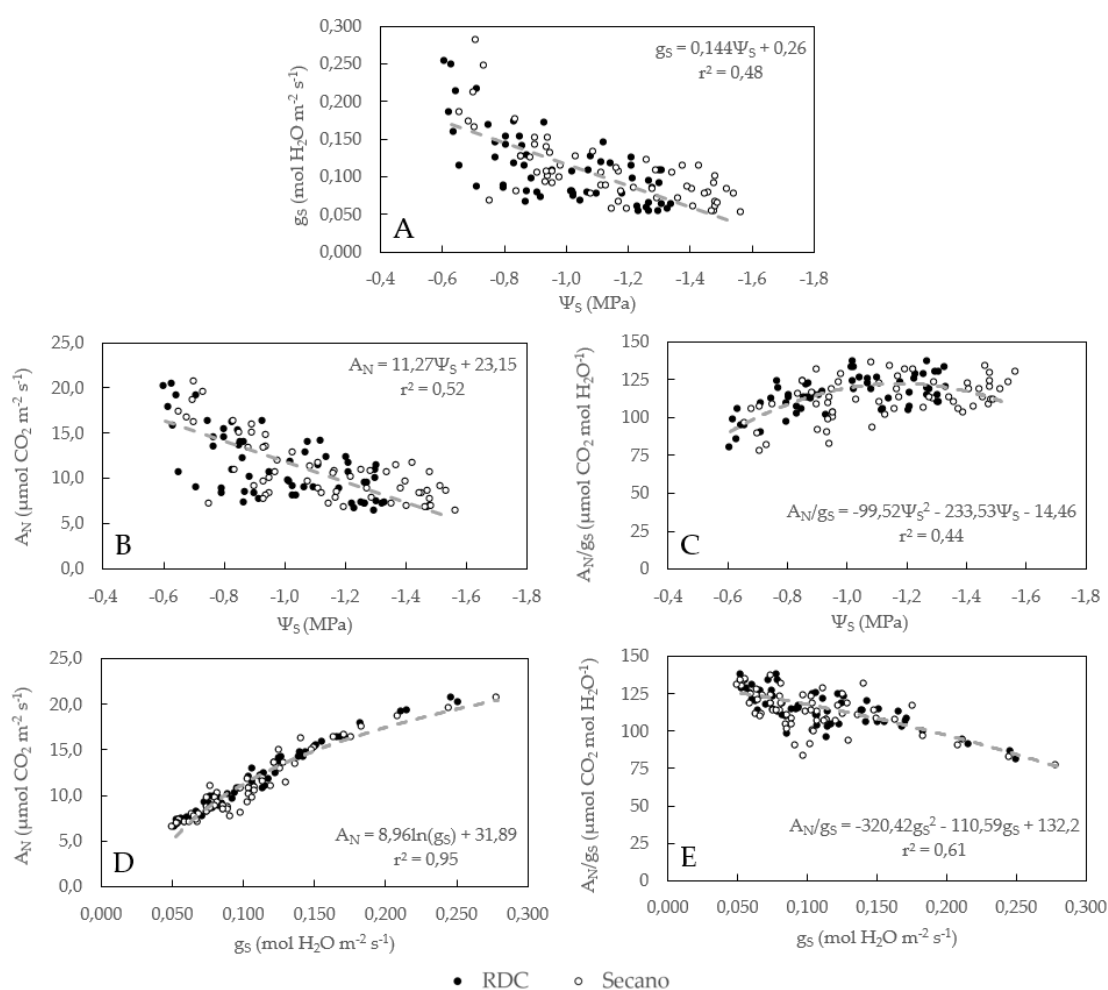
Durante la vendimia, los valores medios de la  $A_N/g_s$  se redujeron ligeramente respecto a los valores alcanzados durante el invierno, hasta un 3% en RDC (alcanzando el valor de  $113 \mu\text{mol CO}_2 \text{ mol H}_2\text{O}^{-1}$ ) y un 5% en secano (alcanzando el valor de  $126 \mu\text{mol CO}_2 \text{ mol H}_2\text{O}^{-1}$ ), manteniéndose una eficiencia alta en RDC y secano. En RDC, todos los genotipos se mantuvieron con una eficiencia alta, oscilando entre la más baja de MC72 ( $105 \mu\text{mol CO}_2 \text{ mol H}_2\text{O}^{-1}$ ) y la más alta de MC19 ( $123 \mu\text{mol CO}_2 \text{ mol H}_2\text{O}^{-1}$ ). En secano, los valores oscilaron entre una  $A_N/g_s$  de  $112 \mu\text{mol CO}_2 \text{ mol H}_2\text{O}^{-1}$  de MS104, que indica una eficiencia buena ( $A_N/g_s$  entre 100 y  $120 \mu\text{mol CO}_2 \text{ mol H}_2\text{O}^{-1}$ ), y una  $A_N/g_s$  de  $133 \mu\text{mol CO}_2 \text{ mol H}_2\text{O}^{-1}$  de MC19, que indica una eficiencia alta. Todos los genotipos se mantuvieron en una eficiencia alta en secano, excepto MS104 que presentó una eficiencia buena. El valor medio en secano fue un 12% más elevado respecto al valor medio en RDC (Tabla 18). MS49 mostró de nuevo el mayor incremento de la  $A_N/g_s$  en secano (19%), respecto de RDC, frente al 1% de MS104, no significativo. La menor  $A_N/g_s$  media se dio en 2020, en RDC y secano, y la mayor  $A_N/g_s$  media en 2021 en RDC y en secano (Tabla 18). Solo en 2018, 2019 y 2020 se observaron diferencias significativas en el valor medio de  $A_N/g_s$  entre tratamientos de riego, con un incremento en secano del 10%, 16% y 18%, respectivamente.

En poscosecha, los valores medios de la  $A_N/g_s$  bajaron respecto a los valores alcanzados durante la vendimia, hasta un 18% en RDC (alcanzando el valor de  $93 \mu\text{mol CO}_2 \text{ mol H}_2\text{O}^{-1}$ ) y un 20% en secano (alcanzando el valor de  $101 \mu\text{mol CO}_2 \text{ mol H}_2\text{O}^{-1}$ ), manteniendo una alta  $A_N/g_s$  en RDC y pasando a una eficiencia buena en secano. En RDC, los genotipos mantuvieron una eficiencia alta en el uso del agua, excepto MS104 que pasó a una eficiencia buena (Tabla 18). Los valores oscilaron entre la más baja de MS104 ( $82 \mu\text{mol CO}_2 \text{ mol H}_2\text{O}^{-1}$ ) y la más alta de MC19 ( $107 \mu\text{mol CO}_2 \text{ mol H}_2\text{O}^{-1}$ ). En secano, los valores oscilaron entre una  $A_N/g_s$  de  $83 \mu\text{mol CO}_2 \text{ mol H}_2\text{O}^{-1}$  de MS104 que indica una eficiencia baja ( $A_N/g_s < 100 \mu\text{mol CO}_2 \text{ mol H}_2\text{O}^{-1}$ ), y una  $A_N/g_s$  de  $110 \mu\text{mol CO}_2 \text{ mol H}_2\text{O}^{-1}$  de MC16 que indica una eficiencia buena. En secano todos los genotipos presentan una eficiencia buena excepto MC80 y MS104, que mostraron una eficiencia baja. El valor medio en secano fue un 9% más elevado respecto al valor medio en RDC (Tabla 18). MC16 presentó el mayor incremento de la  $A_N/g_s$  en secano (20%), respecto de RDC, frente al 0% de MC80. La menor  $A_N/g_s$  media se dio en 2019, en RDC y secano, y la mayor  $A_N/g_s$  media en 2021 en RDC y en secano (Tabla 18). Solo en 2020 y 2021 se observaron diferencias significativas en el valor medio de  $A_N/g_s$  entre tratamientos de riego, con un incremento en secano del 13% y 9%, respectivamente.



### 3.3. Relación entre parámetros fisiológicos

En la Figura 9 se muestran las relaciones entre los distintos parámetros fisiológicos ( $\Psi_s$ ,  $g_s$ ,  $A_N$  y  $A_N/g_s$ ) evaluados para cada tratamiento de riego durante las cuatro campañas estudiadas. Los datos mostrados en la Figura 9 corresponden a los datos medios de las tablas 15, 16, 17 y 18 en los periodos fenológicos de floración – cuajado, envero y vendimia.



**Figura 9. Relación entre los parámetros fisiológicos evaluados ( $\Psi_s$ ,  $g_s$ ,  $A_N$  y  $A_N/g_s$ ) para cada tratamiento de riego durante el periodo 2018-2021.**

(A) Relación entre el potencial hídrico del tallo ( $\Psi_s$ ) de mediodía (12:00 – 14:00) y la conductancia estomática ( $g_s$ ) de media mañana (9:00 – 10:30) ( $g_s = 0,144 \Psi_s + 0,26$ ;  $r^2 = 0,48$ ). (B) Relación entre el  $\Psi_s$  de mediodía y la tasa fotosintética ( $A_N$ ) a media mañana ( $A_N = 11,27 \Psi_s + 23,15$ ;  $r^2 = 0,52$ ). (C) Relación entre el  $\Psi_s$  de mediodía y la eficiencia intrínseca del uso del agua ( $A_N/g_s$ ) de media mañana ( $A_N/g_s = -99,52 \Psi_s^2 - 233,53 \Psi_s - 14,46$ ;  $r^2 = 0,44$ ). (D) Relación entre la  $g_s$  y la  $A_N$  a media mañana ( $A_N = 8,96 \ln(g_s) + 31,89$ ;  $r^2 = 0,95$ ). (E) Relación entre la  $g_s$  y la  $A_N/g_s$  a media mañana ( $A_N/g_s = -320,42 g_s^2 - 110,59 g_s + 132,2$ ;  $r^2 = 0,61$ ). El ajuste lineal de los datos ( $p < 0,001$ ) se representa con una línea discontinua. RDC, riego deficitario controlado.

A la vista de nuestros resultados, el  $\Psi_s$  mostró una relación lineal con la  $g_s$  ( $r^2 = 0,48$ ) y la  $A_N$  ( $r^2 = 0,52$ ), mostrando un comportamiento similar durante el periodo evaluado

(Figura 9 A, B). En ambos casos, se produjo una correlación positiva, de manera que tanto los valores de la  $g_s$  como los de la  $A_N$  disminuyeron a medida que aumentó el estrés hídrico en las vides. Los valores máximos de la  $g_s$  y la  $A_N$  se alcanzaron cuando las plantas presentaron valores de  $\Psi_s$  por encima de -1,1 MPa. Por debajo de este valor, se intensificó el cierre de estomas, con la consiguiente disminución de la fotosíntesis en los genotipos estudiados.

Por el contrario, la relación observada entre el  $\Psi_s$  y la  $A_N/g_s$  ( $r^2 = 0,44$ ) no fue lineal. En la Figura 9 C se muestra como, a medida que incrementa el estrés hídrico, se produce un aumento en la eficiencia intrínseca del uso del agua. Los valores más elevados de la  $A_N/g_s$  se observaron en el rango de valores de -1,1 MPa a -1,3 MPa. Una vez superado el valor de -1,3 MPa, los valores de la  $A_N/g_s$  comenzaron a disminuir.

Las relaciones más fuertes en este ensayo se observaron entre los parámetros relacionados con el intercambio gaseoso, entre la  $g_s$  y la  $A_N$  ( $r^2 = 0,95$ ) y entre la  $g_s$  y la  $A_N/g_s$  ( $r^2 = 0,61$ ) (Figura 9 D, E). En cuanto a la relación entre la  $g_s$  y la  $A_N$  (Figura 9 D), se observó una disminución de los valores de la  $A_N$  a medida que se intensificó el cierre estomático. La disminución de la  $A_N$  fue más acusada cuando los genotipos presentaron una  $g_s$  inferior a  $0,150 \text{ mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ . Por el contrario, los genotipos aumentaron su  $A_N/g_s$  a medida que se incrementó el cierre estomático. Cuando los genotipos presentaron una  $g_s$  inferior a  $0,150 \text{ mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ , se alcanzaron los valores más elevados de la  $A_N/g_s$  (Figura 9 E).

## 4. Parámetros agronómicos y crecimiento vegetativo (2018-2021)

Los valores obtenidos durante el periodo de estudio de los parámetros de producción, caracterización de racimo y bayas y desarrollo vegetativo figuran en los Anexos 8, 9 y 10. Estos datos se han utilizado para calcular el valor medio de los distintos parámetros que figuran en las Tablas 19, 20, 21 y 22. Los datos del área foliar total, peso de madera de poda e índice de Ravaz corresponden solo a las campañas 2019, 2020 y 2021.

### 4.1. Parámetros de producción

En la Tabla 19 se muestran, para cada genotipo, tratamiento de riego y año, los valores medios obtenidos para los parámetros de producción evaluados: producción total ( $\text{Kg vid}^{-1}$ ), número de racimos por vid, peso medio del racimo (g), peso medio de baya (g), porcentaje de aporte del hollejo al peso de la baya (%hollejo) y porcentaje de aporte de las semillas al peso de la baya (%semillas). Los valores de la mayoría de los parámetros de producción variaron significativamente ( $p < 0,001$ ) entre genotipos (G), tratamientos

de riego (R) y años de estudio (A), siendo más significativa para todos los parámetros la interacción del G x A (Tabla 19). Las interacciones del G x R y del G x R x A fueron muy significativas ( $p < 0,001$ ) solo para los parámetros productivos relacionados con el peso de la baya: peso medio de baya, %hollejo y %semilla (Fernández-López et al., 2022).

#### 4.1.1. Producción total

La producción total por vid ( $\text{Kg vid}^{-1}$ ) disminuyó significativamente en condiciones de secano, respecto a RDC, con una reducción media para el periodo de estudio (2018-2021) del 39%, debido principalmente a una disminución en secano del peso medio de los racimos (reducción del 34%) y de las bayas (reducción del 20%), y del número de racimos (reducción del 14%). La producción en RDC osciló entre  $1,76 \text{ Kg vid}^{-1}$  de MC19 y MC72 y  $2,52 \text{ Kg vid}^{-1}$  de MS104, con un valor medio de  $2,03 \text{ Kg vid}^{-1}$ , frente a una producción significativamente menor en secano que osciló entre  $1,03 \text{ Kg vid}^{-1}$  de MC19 y MC72 y  $1,51 \text{ Kg vid}^{-1}$  de MS104, con un valor medio de  $1,23 \text{ Kg vid}^{-1}$ . Por tanto, el genotipo MS104 fue el más productivo, tanto en RDC como en secano (Tabla 19), coincidiendo con el genotipo que presentó el mayor peso medio de racimo en ambas condiciones de cultivo (media de 131 g en RDC; media de 87,46 g en secano). Por el contrario, MC19 y MC72 fueron los genotipos menos productivos, tanto en RDC ( $1,76 \text{ Kg vid}^{-1}$ ) como en secano ( $1,03 \text{ Kg vid}^{-1}$ ), posiblemente debido a que MC19 fue uno de los genotipos con menor número de racimos y MC72 uno de los genotipos con mayor peso medio del racimo (Tabla 19).

Si atendemos al efecto del tratamiento de riego, MC16 y MC80 fueron los genotipos a los que menos les afectaron las condiciones de secano a su producción total, respecto a las de RDC, con una reducción de la producción en secano del 29% y 21%, respectivamente. En el caso de MC16, esta menor reducción se debió posiblemente a que mantuvo el mismo número de racimos en ambas condiciones de cultivo, y en el caso de MC80, principalmente a la menor reducción en el peso medio del racimo (18%). Por el contrario, MS49 fue el genotipo más afectado por las condiciones de secano, reduciendo su producción respecto a RDC, hasta un 54%. Esta reducción se debió principalmente a una mayor disminución en el peso medio del racimo (53%) y de las bayas (41%) en secano. Se detectó una correlación negativa entre la integral de estrés hídrico ( $S_{\psi}$ ) y la producción total (Anexo 11), tanto en RDC ( $r = -0,26$ ) como en secano ( $r = -0,37$ ) para un nivel de probabilidad  $p < 0,001$ . Respecto al efecto del año, se observó una progresiva reducción en la producción media desde 2018 hasta 2020, tanto en RDC (48%) como en secano (62%), coincidiendo con una disminución en el peso medio del racimo (42% en RDC; 51% en secano) y en el número de racimos (16% en RDC; 34% en secano). En 2021, comparado con 2020, se observó una recuperación en la producción total (80% en RDC y 96% en secano), así como en el peso medio del racimo (78% en RDC y 88% en secano).

#### 4.1.2. Número de racimos

En RDC, el número de racimos por planta osciló entre 19 racimos de MC19, MC80 y MS104 y 23 racimos de MC72 y MS49, con un valor medio de 21 racimos por planta, frente a los 15 racimos en secano de MC19 y 22 racimos de MS49, con un valor medio de 18 racimos por vid en secano (Tabla 19). Aunque, en general, el número de racimos disminuyó en condiciones de secano, esta diferencia solo fue significativa para MC19 y MC72 (Tabla 19), con una disminución media en secano del número de racimos del 14%. Se detectó una correlación negativa entre la  $S_{\Psi}$  y el número de racimos (Anexo 11), tanto en RDC ( $r = -0,29$ ) como en secano ( $r = -0,25$ ) para un nivel de probabilidad  $p < 0,001$ .

Si atendemos al efecto del año, en 2018 el número de racimos no varió significativamente entre tratamientos de riego y fue el año con el mayor número de racimos en RDC y secano. Posteriormente, el número de racimos disminuyó en ambos tratamientos, siendo más acusado en secano (Tabla 19).

#### 4.1.3. Peso medio del racimo

Los valores del peso medio del racimo en RDC oscilaron entre 77,5 g de MC72 y 131 g de MS104, con un valor medio de 98,5 g, frente a unos valores inferiores en secano que oscilaron entre 48,9 g de MS49 y 87,5 g de MS104, con un valor medio de 65,5 g. En condiciones de secano se redujo el peso medio del racimo en un 33% de media, siendo MC80 el único genotipo que no se vio afectado significativamente. Por el contrario, MS49 fue el genotipo más afectado por las condiciones de secano, reduciendo el peso medio de su racimo hasta un 53%. El genotipo MS104 presentó el mayor peso medio de racimo en RDC y en secano. Se detectó una correlación negativa entre la  $S_{\Psi}$  y el peso medio del racimo (Anexo 11), tanto en RDC ( $r = -0,18$ ;  $p < 0,01$ ) como en secano ( $r = -0,35$ ;  $p < 0,001$ ).

En 2019 se produjo la mayor reducción del peso medio del racimo (49%) en secano, respecto a RDC. Además, tanto en RDC como en secano, se observó una disminución progresiva del peso medio del racimo desde 2018 hasta 2020, con una recuperación del peso medio en 2021.

#### 4.1.4. Peso medio de la baya

En RDC, el peso medio de la baya osciló entre 0,96 g de MC16 y 1,39 g de MS49, con un valor medio de 1,12 g, frente a un peso medio de baya menor en secano que osciló entre 0,78 g de MC16 y 1,03 g de MC80 y MS104, con un valor medio de 0,89 g. En condiciones de secano, el peso medio de la baya disminuyó en un 21% respecto al alcanzado en RDC. Teniendo en cuenta el efecto del tratamiento de riego, MC80 fue el único genotipo que no experimentó un cambio significativo del peso medio de la baya en condiciones de

secano, respecto a RDC. Por el contrario, MS49 fue el genotipo más afectado, disminuyendo su peso medio de baya en seco en torno a un 42%. En cuanto al factor año, tanto en RDC como en seco se observó el mayor peso de baya en 2021, presentando durante todas las campañas un valor medio significativamente superior en el tratamiento de RDC (Tabla 19). Se detectó una correlación negativa entre la  $S_w$  y el peso medio de la baya (Anexo 11), tanto en RDC ( $r = -0,16$ ) como en seco ( $r = -0,35$ ) para un nivel de probabilidad  $p < 0,001$ .

Todos los genotipos mantuvieron un peso medio de la baya inferior a 1,80 g (criterio de calidad utilizado en la selección inicial de los genotipos), bajo ambos tratamientos de riego. En general, el peso medio de la baya disminuyó en condiciones de seco, coincidiendo con un incremento del porcentaje de aporte del hollejo y de las semillas al peso de la baya.

#### 4.1.5. Porcentaje de hollejo

Un criterio de calidad en uva de vinificación es un mayor porcentaje de aporte del hollejo al peso de la baya (%hollejo). En RDC, el %hollejo osciló entre 8,29% de MS49 y 13,48% de MC16, con un valor medio de 10,75%, frente a los valores obtenidos en seco que oscilaron entre 9,03% de MC19 y 14,21% de MC16, con un valor medio de 11,26% (Tabla 19). Durante el ensayo, la mayoría de los genotipos alcanzaron un %hollejo mayor en condiciones de seco, respecto a las condiciones de RDC, aunque dicho incremento solo fue significativo para MS49 (31% más en seco) y MC80 (6% más en seco) (Tabla 19). En el caso opuesto, MC19 presentó una reducción significativa del %hollejo en seco en torno al 10%. Atendiendo al efecto del año, en condiciones de RDC los valores medios más altos se alcanzaron en 2018 (11,69%) y 2020 (11,25%), y en condiciones de seco en 2020 (11,68%). Solo se observaron diferencias significativas de los valores medios de cada año entre los tratamientos de riego en 2019 (15% más en seco) y 2021 (7% más en seco) (Tabla 19).

#### 4.1.6. Porcentaje de semillas

En RDC, el porcentaje de aporte de las semillas al peso de la baya (%semillas) osciló entre 5,27% de MC19 y 9,32% de MC80, con un valor medio de 7,38%, frente a los valores obtenidos en seco que oscilaron entre 6,20% de MC19 y 10,88% de MC16, con un valor medio de 9,11% (Tabla 19). Atendiendo al efecto del tratamiento de riego, en condiciones de seco se produjo un incremento medio del %semillas del 23%, siendo MC80 el único genotipo que no experimentó un incremento significativo. Por el contrario, MS49 fue el genotipo más afectado, incrementando el %semilla en seco en torno a un 49%.

Tabla 19. Valores medios de parámetros productivos bajo riego deficitario controlado (RDC) y secano.

Genotipo (G)	Producción (Kg vid <sup>-1</sup> )		Número de racimos		Peso racimo (g)		Peso baya (g)		%hollejo		%semillas	
	RDC	Secano	RDC	Secano	RDC	Secano	RDC	Secano	RDC	Secano	RDC	Secano
MC16	1,94 <sup>a β</sup>	1,38 <sup>ab α</sup>	20 <sup>a α</sup>	20 <sup>bc α</sup>	97,6 <sup>ab β</sup>	69,2 <sup>bc α</sup>	0,96 <sup>a β</sup>	0,78 <sup>a α</sup>	13,48 <sup>e α</sup>	14,21 <sup>d α</sup>	8,68 <sup>d α</sup>	10,88 <sup>e β</sup>
MC19	1,76 <sup>a β</sup>	1,03 <sup>a α</sup>	19 <sup>a β</sup>	15 <sup>a α</sup>	93,5 <sup>ab β</sup>	61,8 <sup>abc α</sup>	0,99 <sup>ab β</sup>	0,86 <sup>b α</sup>	9,99 <sup>b β</sup>	9,03 <sup>a α</sup>	5,27 <sup>a α</sup>	6,20 <sup>a β</sup>
MC72	1,76 <sup>a β</sup>	1,03 <sup>a α</sup>	23 <sup>b β</sup>	18 <sup>abc α</sup>	77,5 <sup>a β</sup>	55,5 <sup>ab α</sup>	1,06 <sup>ab β</sup>	0,86 <sup>b α</sup>	10,72 <sup>c α</sup>	11,23 <sup>b α</sup>	7,76 <sup>c α</sup>	10,30 <sup>de β</sup>
MC80	1,77 <sup>a β</sup>	1,39 <sup>ab α</sup>	19 <sup>a α</sup>	17 <sup>ab α</sup>	91,0 <sup>ab α</sup>	74,2 <sup>cd α</sup>	1,09 <sup>b α</sup>	1,03 <sup>c α</sup>	12,40 <sup>d α</sup>	13,11 <sup>c β</sup>	9,32 <sup>e α</sup>	9,36 <sup>c α</sup>
MS49	2,47 <sup>b β</sup>	1,14 <sup>ab α</sup>	23 <sup>b α</sup>	22 <sup>c α</sup>	104,1 <sup>b β</sup>	48,9 <sup>a α</sup>	1,39 <sup>d β</sup>	0,81 <sup>ab α</sup>	8,29 <sup>a α</sup>	10,87 <sup>b β</sup>	6,63 <sup>b α</sup>	9,87 <sup>cd β</sup>
MS104	2,52 <sup>b β</sup>	1,51 <sup>b α</sup>	19 <sup>a α</sup>	17 <sup>ab α</sup>	131,0 <sup>c β</sup>	87,5 <sup>d α</sup>	1,22 <sup>c β</sup>	1,03 <sup>c α</sup>	9,65 <sup>b α</sup>	9,10 <sup>a α</sup>	6,57 <sup>b α</sup>	7,92 <sup>b β</sup>
<b>Riego (R)</b>	2,03 <sup>β</sup>	1,23 <sup>α</sup>	21 <sup>β</sup>	18 <sup>α</sup>	98,5 <sup>β</sup>	65,5 <sup>α</sup>	1,12 <sup>β</sup>	0,89 <sup>α</sup>	10,75 <sup>α</sup>	11,26 <sup>β</sup>	7,38 <sup>α</sup>	9,11 <sup>β</sup>
<b>Año (A)</b>												
2018	2,54 <sup>b β</sup>	1,88 <sup>c α</sup>	23 <sup>b α</sup>	24 <sup>b α</sup>	116,1 <sup>c β</sup>	85,4 <sup>b α</sup>	1,05 <sup>α β</sup>	0,88 <sup>b α</sup>	11,69 <sup>b α</sup>	11,27 <sup>ab α</sup>	6,74 <sup>b α</sup>	8,68 <sup>b β</sup>
2019	1,67 <sup>a β</sup>	0,74 <sup>a α</sup>	20 <sup>a β</sup>	16 <sup>a α</sup>	84,6 <sup>b β</sup>	42,8 <sup>a α</sup>	1,00 <sup>α β</sup>	0,77 <sup>α α</sup>	9,78 <sup>a α</sup>	11,25 <sup>ab β</sup>	7,26 <sup>bc α</sup>	9,77 <sup>c β</sup>
2020	1,33 <sup>a β</sup>	0,71 <sup>a α</sup>	19 <sup>a β</sup>	16 <sup>a α</sup>	66,8 <sup>a β</sup>	42,2 <sup>a α</sup>	1,00 <sup>α β</sup>	0,82 <sup>α α</sup>	11,25 <sup>b α</sup>	11,68 <sup>b α</sup>	7,76 <sup>c α</sup>	9,08 <sup>c β</sup>
2021	2,40 <sup>b β</sup>	1,39 <sup>b α</sup>	20 <sup>a β</sup>	16 <sup>a α</sup>	119,4 <sup>c β</sup>	79,4 <sup>b α</sup>	1,44 <sup>b β</sup>	1,12 <sup>c α</sup>	9,74 <sup>a α</sup>	10,39 <sup>a β</sup>	6,06 <sup>a α</sup>	7,49 <sup>a β</sup>
<b>ANOVA</b>	<b>Producción</b>		<b>Número de racimos</b>		<b>Peso racimo</b>		<b>Peso baya</b>		<b>%hollejo</b>		<b>%semillas</b>	
G	***		***		***		***		***		***	
R	***		***		***		***		*		***	
A	***		***		***		***		***		***	
G x R	*		ns		*		***		***		***	
G x A	**		***		***		***		***		***	
R x A	ns		**		ns		**		ns		ns	
G x R x A	ns		*		ns		***		***		***	

%hollejo, porcentaje de aporte del hollejo al peso de la baya; %semillas, porcentaje de aporte de las semillas al peso de la baya. Separación de medias realizadas con el test de rangos múltiples de Duncan. Para cada genotipo y año, diferentes letras en la misma columna (a-e) indican diferencias significativas entre genotipos y años, respectivamente ( $p < 0,05$ ). Para cada parámetro productivo, diferentes letras en la misma fila ( $\alpha, \beta$ ) indican diferencias significativas entre tratamientos de riego (prueba de rangos múltiples de Duncan,  $p < 0,05$ ). Análisis de varianza múltiple (ANOVA tres vías) por genotipo (G), tratamiento de riego (R), año (A) y sus interacciones: ns: no significativo; \* $p < 0,05$ ; \*\* $p < 0,01$ ; \*\*\* $p < 0,001$ .

Este incremento en secano del %semillas se produjo durante los 4 años de estudio, alcanzándose los valores más elevados en ambos tratamientos de riego en 2019 y 2020 (Tabla 19).

#### 4.2. Caracterización de racimos y bayas

En la Tabla 20 se muestran los valores obtenidos para la caracterización del racimo: longitud (mm), anchura (mm) y compacidad del racimo (Fernández-López et al., 2022) y en la Tabla 21 se muestran los valores obtenidos para la caracterización de la baya: longitud (mm) y anchura de baya (mm), número de semillas y peso medio de la semilla por baya (mg) para cada uno de los genotipos en los diferentes tratamientos de riego (RDC y secano) y años estudiados. Los valores para la mayoría de las variables utilizadas en la caracterización de los racimos y bayas variaron significativamente ( $p < 0,001$ ) entre los genotipos (G), tratamientos de riego (R) y años de estudio (A), y en términos de la influencia de las interacciones G x R, G x A y G x R x A.

##### 4.2.1. Longitud del racimo

En RDC, la longitud del racimo osciló entre 140 mm de MS104 y 168 mm de MC72, con un valor medio de 153 mm, frente a una longitud del racimo significativamente menor en secano que osciló entre 121 mm de MS49 y 155 mm de MC16, con un valor medio de 136 mm (Tabla 20). Atendiendo a la clasificación realizada por el descriptor de la OIV 202, la longitud media del racimo de MC16, MC80, MS49 y MS104, tanto en RDC como en secano, fue media (rango 5, valores entre 120-160 mm); MC19 y MC72 presentaron una longitud del racimo larga (rango 7, valores entre 160-200 mm) en RDC y media (rango 5) en secano.

Si atendemos al efecto del riego, en secano se produjo una reducción media de la longitud del racimo (11%), respecto de RDC, siendo MS49 el genotipo donde se observó una mayor disminución (18%), frente a MC16 que no redujo dicha longitud (Tabla 20). En 2018 no se produjo una reducción media significativa de la longitud del racimo en secano, respecto a RDC, siendo el año en el que se alcanzó la mayor longitud media del racimo, tanto en RDC (163 mm) como en secano (151 mm). Por el contrario, en 2019 se obtuvo la menor longitud media de los racimos, tanto en RDC (135 mm) como en secano (117 mm). La mayor diferencia entre ambas condiciones de riego se dio en 2019, con una reducción del 13% en secano, y la menor diferencia se observó en 2018, sin diferencias estadísticamente significativas (Tabla 20).

##### 4.2.2. Anchura del racimo

En RDC, la anchura del racimo osciló entre 76 mm de MS49 y 123 mm de MC72, con un valor medio de 97 mm, frente a una anchura del racimo significativamente menor en

secano (13%) que osciló entre 62 mm de MS49 y 98 mm de MC72, con un valor medio de 84 mm. La anchura media del racimo, según el descriptor OIV 203 fue mediana (rango 5, valores entre 80-120 mm) tanto en RDC como en secano para los genotipos MC16, MC80 y MS104. El genotipo MS49 presentó un racimo estrecho (rango 3, valores entre 40-80 mm) en ambas condiciones de riego. MC72 mostró un racimo ancho (rango 7, valores entre 120-160 mm) en RDC y mediano (rango 5) en secano; mientras que MC19 presentó un racimo mediano en RDC y estrecho (rango 3) en secano.

Tabla 20. Valores medios de parámetros morfológicos del racimo bajo riego deficitario controlado (RDC) y secano.

Genotipo (G)	Longitud de racimo (mm)		OIV 202		Anchura racimo (mm)		OIV 203		Compacidad del racimo	
	RDC	Secano	RDC	Secano	RDC	Secano	RDC	Secano	RDC	Secano
MC16	155 <sup>bc α</sup>	155 <sup>d α</sup>	5	5	91 <sup>b α</sup>	90 <sup>c α</sup>	5	5	5	5
MC19	162 <sup>cd β</sup>	142 <sup>c α</sup>	5	5	98 <sup>bc β</sup>	79 <sup>b α</sup>	5	3	5	3
MC72	168 <sup>d β</sup>	143 <sup>c α</sup>	7	5	123 <sup>d β</sup>	98 <sup>d α</sup>	7	5	1	1
MC80	145 <sup>ab β</sup>	134 <sup>bc α</sup>	5	5	95 <sup>bc β</sup>	85 <sup>bc α</sup>	5	5	7	7
MS49	148 <sup>ab β</sup>	121 <sup>a α</sup>	5	5	76 <sup>a β</sup>	62 <sup>a α</sup>	3	3	7	7
MS104	140 <sup>a β</sup>	124 <sup>ab α</sup>	5	5	101 <sup>c β</sup>	93 <sup>cd α</sup>	5	5	7	5
<b>Riego (R)</b>	153 <sup>β</sup>	136 <sup>α</sup>	5	5	97 <sup>β</sup>	84 <sup>α</sup>	5	5		
<b>Año (A)</b>										
2018	163 <sup>c α</sup>	151 <sup>c α</sup>			100 <sup>b α</sup>	94 <sup>b α</sup>				
2019	135 <sup>a β</sup>	117 <sup>a α</sup>			95 <sup>ab β</sup>	78 <sup>a α</sup>				
2020	153 <sup>b β</sup>	135 <sup>b α</sup>			91 <sup>a β</sup>	79 <sup>a α</sup>				
2021	161 <sup>c β</sup>	143 <sup>c α</sup>			103 <sup>b β</sup>	87 <sup>b α</sup>				
<b>ANOVA</b>	<u>Longitud de racimo</u>				<u>Anchura de racimo</u>					
G	***				***					
R	***				***					
A	***				***					
G x R	**				***					
G x A	***				***					
R x A	ns				ns					
G x R x A	*				*					

Separación de medias realizadas con el test de rangos múltiples de Duncan. Para cada genotipo y año, diferentes letras en la misma columna (a-e) indican diferencias significativas entre genotipos y años, respectivamente ( $p < 0,05$ ). Para cada parámetro morfológico, diferentes letras en la misma fila ( $\alpha, \beta$ ) indican diferencias significativas entre tratamientos de riego (prueba de rangos múltiples de Duncan,  $p < 0,05$ ). Análisis de varianza múltiple (ANOVA tres vías) por genotipo (G), tratamiento de riego (R), año (A) y sus interacciones: ns: no significativo; \* $p < 0,05$ ; \*\* $p < 0,01$ ; \*\*\* $p < 0,001$ .

Atendiendo al efecto del riego, en secano se produjo una reducción media significativa de la anchura del racimo del 13%, siendo MC72 el genotipo que más la redujo (20%), frente a MC16 que no redujo significativamente la anchura del racimo en secano (Tabla 20). En 2018 no se produjo una reducción media significativa de la anchura del racimo en secano, respecto a RDC. Por el contrario, en 2019 se obtuvo la mayor reducción media de la anchura del racimo en secano (18%).



#### 4.2.3. *Compacidad de racimo*

Respecto a la compacidad de los racimos, se observaron dos comportamientos a lo largo del periodo estudiado. Por un lado, algunos genotipos no experimentaron cambios en su compacidad: MC80 y MS49 presentaron racimos compactos (rango 7 OIV 243) tanto en RDC como en seco; MC16 mostró una compacidad media (rango 5 OIV 243) en RDC y en seco; y MC72 presentó racimos con una compacidad muy suelta (rango 1 OIV 243) en RDC y en seco. Por otro lado, MC19 y MS104 disminuyeron la compacidad en seco, respecto a RDC (Tabla 20). MC19 presentó racimos de compacidad media (rango 5 OIV 243) en RDC y suelta (rango 3 OIV 243) en seco, mientras que MS104 mostró racimos de compacidad compacta (rango 7 OIV 243) en RDC y media (rango 5 OIV 243) en seco. Esta disminución de la compacidad del racimo en condiciones de seco pudo ser debida a un menor número de bayas en el racimo en condiciones de seco (datos no mostrados).

#### 4.2.4. *Longitud de baya*

En RDC, la longitud de la baya osciló entre 11,00 mm de MC16 y 13,52 mm de MS49, con un valor medio de 12,04 mm, frente a una longitud de la baya significativamente menor en seco que osciló entre 10,42 mm de MC16 y 11,49 mm de MS49, con un valor medio de 10,95 mm. En seco se produjo una reducción media de la longitud de la baya del 9%, respecto de RDC, siendo MC16 el genotipo con la menor reducción (5%) frente a MS49 (15%) que presentó la mayor reducción (Tabla 21). La longitud media de las bayas, atendiendo al descriptor OIV 220, en general no mostró variación entre genotipos ni entre tratamientos de riego. Todos los genotipos presentaron una longitud de baya corta (OIV 220 rango 3, valores entre 8-13 mm) tanto en RDC como en seco, a excepción de MS49 que presentó una longitud de baya media (OIV 220 rango 5, valores entre 13-18 mm) en RDC y corta en seco (OIV 220 rango 3).

La menor longitud media de la baya se alcanzó en 2019, tanto en RDC como en seco, y la mayor longitud media en 2021 (Tabla 21), siendo 2019 el año en el que se vio un mayor efecto del cultivo en seco sobre la reducción de dicha longitud media de la baya (13%).

#### 4.2.5. *Anchura de baya*

En RDC, la anchura de la baya osciló entre 10,98 mm de MC16 y 12,21 mm de MS49, con un valor medio de 11,61 mm, frente a una anchura de la baya significativamente menor en seco que osciló entre 9,99 mm de MC16 y 11,11 mm de MC80, con un valor medio de 10,67 mm (Tabla 21). La anchura media de las bayas, atendiendo a la clasificación según el descriptor OIV 221, no mostró variación alguna entre genotipos ni entre

tratamientos de riego. Todos los genotipos presentaron bayas estrechas (OIV 221 rango 3) tanto en RDC como en secano (Tabla 21).

En secano se produjo una reducción media de la anchura de la baya del 8%, respecto de RDC, siendo MS49 el genotipo con mayor reducción (15%) frente a MS104 que no presentó diferencias significativas entre tratamientos de riego. De nuevo, en 2019 se alcanzó la menor anchura media de la baya, en RDC y secano, y la mayor anchura en 2021 (Tabla 21), siendo 2019 y 2020 los años con un mayor efecto del cultivo en secano sobre la reducción de la anchura media de la baya.

#### 4.2.6. Número de semillas

El número medio de semillas por baya varió entre los valores de 1,6 semillas baya<sup>-1</sup> de MC19 y 2,7 semillas baya<sup>-1</sup> de MC16 en RDC, con un valor medio de 2,4 semillas baya<sup>-1</sup>; y los valores de 1,8 semillas baya<sup>-1</sup> de MC19 y 2,9 semillas baya<sup>-1</sup> de MC16 en secano, con un valor medio de 2,5 semillas baya<sup>-1</sup> (Tabla 21). El número medio de semillas aumentó significativamente en secano (4%), respecto a RDC, siendo MC19 el genotipo más afectado por el cultivo en secano (con un 13% de incremento del número de semillas), frente a MC80 y MS49 que no mostraron diferencias significativas entre tratamientos de riego.

No se detectaron diferencias significativas para este parámetro entre los años de estudio, pero sí entre los tratamientos de riego, produciéndose las mayores diferencias significativas en 2018 y 2019 (9%).

#### 4.2.7. Peso medio de la semilla

En RDC, el peso medio de una semilla osciló entre 29,49 mg de MC16 y 38,50 mg de MC80, con un valor medio de 33,70 mg. En secano, osciló entre 28,13 mg de MS104 y 36,97 mg de MC80, con un valor medio de 31,88 mg (Tabla 21). El peso medio de una semilla disminuyó significativamente en secano (5%), siendo MS49 el genotipo más afectado (12%) frente a MC16 cuyo peso medio no varió significativamente entre tratamientos de riego. El peso medio de las semillas, atendiendo a la clasificación según el descriptor OIV 243, no presentó variación ni entre genotipos ni entre tratamientos de riego, con un peso medio (rango 5, valores entre 25-40 mg) en todos los genotipos, tratamientos de riego y años de estudio (Tabla 21).

El mayor peso medio de semilla se obtuvo en 2021, tanto en RDC como en secano, produciéndose diferencias significativas entre tratamientos de riego solo en 2020, con un incremento del peso medio en RDC del 7%, respecto a secano (Tabla 21).

Con respecto a los caracteres estudiados sobre color del hollejo y pulpa, y el sabor de la baya, no hubo variación entre genotipos, ni tratamientos de riego, ni años de estudio.

Tabla 21. Valores medios de parámetros morfológicos de la baya bajo riego deficitario controlado (RDC) y secano.

Genotipo (G)	Longitud baya (mm)		OIV 220		Anchura baya (mm)		OIV 221		N° semillas (semillas baya <sup>-1</sup> )		Peso semilla (mg)		OIV 243	
	RDC	Secano	RDC	Secano	RDC	Secano	RDC	Secano	RDC	Secano	RDC	Secano	RDC	Secano
MC16	11,00 <sup>a</sup> $\beta$	10,42 <sup>a</sup> $\alpha$	3	3	10,98 <sup>a</sup> $\beta$	9,99 <sup>a</sup> $\alpha$	3	3	2,7 <sup>e</sup> $\alpha$	2,9 <sup>d</sup> $\beta$	29,49 <sup>a</sup> $\alpha$	28,80 <sup>a</sup> $\alpha$	5	5
MC19	11,72 <sup>bc</sup> $\beta$	10,57 <sup>ab</sup> $\alpha$	3	3	11,63 <sup>bc</sup> $\beta$	10,71 <sup>bc</sup> $\alpha$	3	3	1,6 <sup>a</sup> $\alpha$	1,8 <sup>a</sup> $\beta$	30,46 <sup>a</sup> $\beta$	28,55 <sup>a</sup> $\alpha$	5	5
MC72	11,63 <sup>b</sup> $\beta$	10,94 <sup>abc</sup> $\alpha$	3	3	11,28 <sup>ab</sup> $\beta$	10,70 <sup>bc</sup> $\alpha$	3	3	2,2 <sup>b</sup> $\alpha$	2,4 <sup>b</sup> $\beta$	36,77 <sup>b</sup> $\beta$	35,60 <sup>c</sup> $\alpha$	5	5
MC80	12,13 <sup>bc</sup> $\beta$	11,04 <sup>bc</sup> $\alpha$	3	3	11,94 <sup>cd</sup> $\beta$	11,11 <sup>c</sup> $\alpha$	3	3	2,6 <sup>d</sup> $\alpha$	2,5 <sup>c</sup> $\alpha$	38,50 <sup>c</sup> $\beta$	36,97 <sup>d</sup> $\alpha$	5	5
MS49	13,52 <sup>d</sup> $\beta$	11,49 <sup>c</sup> $\alpha$	5	3	12,21 <sup>d</sup> $\beta$	10,40 <sup>ab</sup> $\alpha$	3	3	2,4 <sup>c</sup> $\alpha$	2,4 <sup>b</sup> $\alpha$	37,09 <sup>b</sup> $\beta$	32,76 <sup>b</sup> $\alpha$	5	5
MS104	12,21 <sup>c</sup> $\beta$	11,27 <sup>c</sup> $\alpha$	3	3	11,64 <sup>bc</sup> $\alpha$	11,10 <sup>c</sup> $\alpha$	3	3	2,6 <sup>de</sup> $\alpha$	2,8 <sup>d</sup> $\beta$	29,53 <sup>a</sup> $\beta$	28,13 <sup>a</sup> $\alpha$	5	5
<b>Riego (R)</b>	12,04 <sup><math>\beta</math></sup>	10,95 <sup><math>\alpha</math></sup>	3	3	11,61 <sup><math>\beta</math></sup>	10,67 <sup><math>\alpha</math></sup>	3	3	2,4 <sup><math>\alpha</math></sup>	2,5 <sup><math>\beta</math></sup>	33,70 <sup><math>\beta</math></sup>	31,88 <sup><math>\alpha</math></sup>	5	5
<b>Año (A)</b>														
2018	11,93 <sup>a</sup> $\beta$	11,00 <sup>b</sup> $\alpha$			11,36 <sup>ab</sup> $\beta$	10,59 <sup>b</sup> $\alpha$			2,3 <sup>a</sup> $\alpha$	2,5 <sup>a</sup> $\beta$	33,80 <sup>a</sup> $\alpha$	31,50 <sup>a</sup> $\alpha$		
2019	11,48 <sup>a</sup> $\beta$	9,95 <sup>a</sup> $\alpha$			11,07 <sup>a</sup> $\beta$	9,96 <sup>a</sup> $\alpha$			2,3 <sup>a</sup> $\alpha$	2,5 <sup>a</sup> $\beta$	32,40 <sup>a</sup> $\alpha$	30,70 <sup>a</sup> $\alpha$		
2020	11,75 <sup>a</sup> $\beta$	10,86 <sup>b</sup> $\alpha$			11,66 <sup>b</sup> $\beta$	10,47 <sup>b</sup> $\alpha$			2,4 <sup>a</sup> $\alpha$	2,5 <sup>a</sup> $\beta$	33,40 <sup>a</sup> $\beta$	31,00 <sup>a</sup> $\alpha$		
2021	12,99 <sup>b</sup> $\beta$	12,01 <sup>c</sup> $\alpha$			12,37 <sup>c</sup> $\beta$	11,65 <sup>c</sup> $\alpha$			2,4 <sup>a</sup> $\alpha$	2,4 <sup>a</sup> $\alpha$	35,30 <sup>b</sup> $\alpha$	34,55 <sup>b</sup> $\alpha$		
<b>ANOVA</b>	Longitud baya				Anchura baya				N° semillas		Peso semilla			
G	***				***				***		***			
R	***				***				**		***			
A	***				***				ns		***			
G x R	**				**				**		**			
G x A	***				***				***		***			
R x A	ns				ns				ns		ns			
G x R x A	**				***				***		***			

Separación de medias realizadas con el test de rangos múltiples de Duncan. Para cada genotipo y año, diferentes letras en la misma columna (a-d) indican diferencias significativas entre genotipos y años, respectivamente ( $p < 0,05$ ). Para cada parámetro morfológico, diferentes letras en la misma fila ( $\alpha, \beta$ ) indican diferencias significativas entre tratamientos de riego (prueba de rangos múltiples de Duncan,  $p < 0,05$ ). Análisis de varianza múltiple (ANOVA tres vías) por genotipo (G), tratamiento de riego (R), año (A) y sus interacciones: ns: no significativo; \* $p < 0,05$ ; \*\* $p < 0,01$ ; \*\*\* $p < 0,001$ .

Todos los genotipos presentaron un color de hollejo azul-negro (OIV 225 rango 9), ausencia de la pigmentación antociánica de la pulpa (OIV 231 rango 1) y sabor de baya catalogado como otro sabor distinto de moscatel, foxé o herbáceo (OIV 236 rango 5).

## 5. Crecimiento vegetativo (2018-2021)

En la Tabla 22 se muestran, para cada genotipo, tratamiento de riego y año, los valores medios obtenidos para los parámetros de crecimiento vegetativo: tamaño medio del tallo (cm), área foliar total ( $\text{m}^2 \text{vid}^{-1}$ ), peso de poda ( $\text{g vid}^{-1}$ ) e índice de Ravaz. El área foliar total y el peso de poda solo se estimaron en 2019, 2020 y 2021, por lo que el índice de Ravaz solo se obtuvo para estos años. Los valores de la mayoría de los parámetros de crecimiento vegetativo variaron significativamente ( $p < 0,001$ ) entre genotipos (G), tratamientos de riego (R) y años de estudio (A), a excepción del índice de Ravaz cuyos valores solo variaron significativamente entre genotipos (G). Las interacciones entre los distintos factores no fueron significativas para ninguno de los parámetros, a excepción de la interacción G x R que fue significativa ( $p < 0,05$ ) para el índice de Ravaz.

### 5.1. Tamaño medio del tallo

Los valores medios del tamaño del tallo oscilaron en RDC entre 101 cm de MC19 y 126 cm de MC80, con un valor medio de 115 cm, frente a valores en secano que oscilaron entre 63 cm de MC19 y 114 cm de MC80, con un valor medio de 87 cm. Por tanto, MC80 fue el genotipo que presentó un mayor crecimiento del tallo y MC19 el que mostró el menor crecimiento, tanto en RDC como en secano (Tabla 22). En secano, en comparación con RDC, se produjo una reducción significativa del crecimiento medio del tallo en el periodo de estudio de un 24%. Los genotipos más afectados por las condiciones de riego fueron MC19, MC72, MS49 y MS104, con una disminución del crecimiento del tallo en secano del 38%, 24%, 33 y 31% respectivamente. Por el contrario, MC16 y MC80 fueron los genotipos menos afectados por las condiciones de riego, con una disminución del crecimiento del tallo del 7% y 10%, respectivamente. Atendiendo al efecto del año en el crecimiento medio del tallo, se observó una disminución progresiva significativa, tanto en RDC como en secano, desde 2018 hasta 2020 (31% en RDC; 40% en secano), con una recuperación significativa en 2021, respecto a 2020, del 40% en RDC y del 51% en secano. El año más afectado por las condiciones de riego fue 2019, con una disminución significativa del crecimiento del tallo en secano del 32%, frente al 16% en 2018 (no significativo).

Tabla 22. Valores medios de parámetros de crecimiento vegetativo bajo riego deficitario controlado (RDC) y secano.

Genotipo (G)	Tamaño tallo (cm)		Área foliar (m <sup>2</sup> vid <sup>-1</sup> )		Peso poda (g vid <sup>-1</sup> )		Índice de Ravaz	
	RDC	Secano	RDC	Secano	RDC	Secano	RDC	Secano
MC16	122 <sup>ab</sup> $\alpha$	113 <sup>c</sup> $\alpha$	2,93 <sup>ab</sup> $\alpha$	2,34 <sup>b</sup> $\alpha$	416 <sup>ab</sup> $\alpha$	354 <sup>b</sup> $\alpha$	5,0 <sup>a</sup> $\beta$	3,4 <sup>a</sup> $\alpha$
MC19	101 <sup>a</sup> $\beta$	63 <sup>a</sup> $\alpha$	2,74 <sup>a</sup> $\beta$	1,44 <sup>a</sup> $\alpha$	437 <sup>ab</sup> $\beta$	161 <sup>a</sup> $\alpha$	5,0 <sup>a</sup> $\alpha$	5,1 <sup>b</sup> $\alpha$
MC72	119 <sup>ab</sup> $\beta$	91 <sup>b</sup> $\alpha$	3,60 <sup>b</sup> $\beta$	2,47 <sup>b</sup> $\alpha$	601 <sup>b</sup> $\beta$	356 <sup>b</sup> $\alpha$	3,6 <sup>a</sup> $\alpha$	3,2 <sup>a</sup> $\alpha$
MC80	126 <sup>b</sup> $\beta$	114 <sup>c</sup> $\alpha$	2,70 <sup>a</sup> $\alpha$	2,14 <sup>b</sup> $\alpha$	357 <sup>a</sup> $\alpha$	330 <sup>b</sup> $\alpha$	4,9 <sup>a</sup> $\beta$	3,6 <sup>a</sup> $\alpha$
MS49	108 <sup>ab</sup> $\beta$	72 <sup>ab</sup> $\alpha$	2,37 <sup>a</sup> $\beta$	1,43 <sup>a</sup> $\alpha$	357 <sup>a</sup> $\beta$	135 <sup>a</sup> $\alpha$	8,6 <sup>c</sup> $\alpha$	10,1 <sup>c</sup> $\alpha$
MS104	117 <sup>ab</sup> $\beta$	81 <sup>ab</sup> $\alpha$	2,83 <sup>a</sup> $\beta$	1,38 <sup>a</sup> $\alpha$	344 <sup>a</sup> $\beta$	131 <sup>a</sup> $\alpha$	6,9 <sup>b</sup> $\alpha$	5,8 <sup>b</sup> $\alpha$
<b>Riego (R)</b>	115 <sup><math>\beta</math></sup>	87 <sup><math>\alpha</math></sup>	2,86 <sup><math>\beta</math></sup>	1,86 <sup><math>\alpha</math></sup>	421 <sup><math>\beta</math></sup>	244 <sup><math>\alpha</math></sup>	5,6 <sup><math>\alpha</math></sup>	5,2 <sup><math>\alpha</math></sup>
<b>Año (A)</b>								
2018	135 <sup>c</sup> $\alpha$	114 <sup>b</sup> $\alpha$	-	-	-	-	-	-
2019	110 <sup>b</sup> $\beta$	75 <sup>a</sup> $\alpha$	2,76 <sup>a</sup> $\beta$	1,64 <sup>a</sup> $\alpha$	376 <sup>a</sup> $\beta$	183 <sup>a</sup> $\alpha$	5,7 <sup>a</sup> $\alpha$	5,3 <sup>a</sup> $\alpha$
2020	93 <sup>a</sup> $\beta$	68 <sup>a</sup> $\alpha$	2,41 <sup>a</sup> $\beta$	1,55 <sup>a</sup> $\alpha$	279 <sup>a</sup> $\beta$	166 <sup>a</sup> $\alpha$	6,0 <sup>a</sup> $\alpha$	5,4 <sup>a</sup> $\alpha$
2021	130 <sup>c</sup> $\beta$	103 <sup>b</sup> $\alpha$	3,39 <sup>b</sup> $\beta$	2,42 <sup>b</sup> $\alpha$	595 <sup>b</sup> $\beta$	386 <sup>b</sup> $\alpha$	5,2 <sup>a</sup> $\alpha$	4,9 <sup>a</sup> $\alpha$
<b>ANOVA</b>	Tamaño tallo		Área foliar		Peso poda		Índice de Ravaz	
G	***		***		***		***	
R	***		***		***		ns	
A	***		***		***		ns	
G x R	ns		ns		ns		*	
G x A	ns		ns		ns		ns	
R x A	ns		ns		ns		ns	
G x R x A	ns		ns		ns		ns	

Separación de medias realizadas con el test de rangos múltiples de Duncan. Para cada genotipo y año, diferentes letras en la misma columna (a-c) indican diferencias significativas entre genotipos y años, respectivamente ( $p < 0,05$ ). Para cada parámetro de crecimiento vegetativo, diferentes letras en la misma fila ( $\alpha$ ,  $\beta$ ) indican diferencias significativas entre tratamientos de riego (prueba de rangos múltiples de Duncan,  $p < 0,05$ ). Análisis de varianza múltiple (ANOVA tres vías) por genotipo (G), tratamiento de riego (R), año (A) y sus interacciones: ns: no significativo; \* $p < 0,05$ ; \*\* $p < 0,01$ ; \*\*\* $p < 0,001$ .

## 5.2. Área foliar total

Con respecto al área foliar total, en RDC los valores oscilaron entre 2,37 m<sup>2</sup> vid<sup>-1</sup> de MS49 y 3,60 m<sup>2</sup> vid<sup>-1</sup> de MC72, con un valor medio de 2,86 m<sup>2</sup> vid<sup>-1</sup>, frente a un área foliar total menor en secano que osciló entre 1,38 m<sup>2</sup> vid<sup>-1</sup> de MS104 y 2,47 m<sup>2</sup> vid<sup>-1</sup> de MC72, con un valor medio de 1,86 m<sup>2</sup> vid<sup>-1</sup>. Por tanto, MC72 fue el genotipo con mayor área foliar tanto en RDC como en secano. Atendiendo al efecto del tratamiento de riego, en secano se produjo una reducción del área foliar, en comparación con RDC, en el periodo de estudio del 35%, siendo MC16 y MC80 los genotipos menos afectados con una reducción del 20% y 21%, respectivamente, frente a los más afectados, MC19 y MS104 que presentaron una reducción del 48% y 51% respectivamente. De nuevo, se observa una reducción progresiva de área foliar de 2019 a 2020 (13% en RDC y 5% en secano) aunque no significativa estadísticamente, con una recuperación significativa en 2021 respecto a 2020, del 41% en

RDC y del 56% en seco. El año más afectado por las condiciones de riego fue 2019, con una disminución del área foliar en seco del 41%, frente al 29% en 2021.

### 5.3. *Peso de poda*

Los valores del peso de poda oscilaron en RDC entre 344 g vid<sup>-1</sup> de MS104 y 601 g vid<sup>-1</sup> de MC72, con un valor medio de 421 g vid<sup>-1</sup>, frente a un peso de poda significativamente menor en seco que osciló entre 131 g vid<sup>-1</sup> de MS104 y 356 g vid<sup>-1</sup> de MC16, con un valor medio de 244 g vid<sup>-1</sup> (Tabla 22). Solo el genotipo MC72, mantuvo un peso de poda por encima de la media tanto en RDC como en seco. Si atendemos al efecto del tratamiento de riego en el periodo de estudio, en seco se produjo una reducción del peso de poda del 42%, en comparación con RDC, siendo MC16 y MC80 los genotipos menos afectados con una reducción del peso de poda del 15% y 8%, respectivamente. Por el contrario, MC19, MS49 y MS104 fueron los genotipos más afectados por las condiciones de seco, reduciendo su peso de poda hasta un 63%, 62% y 62% respectivamente. Nuevamente, encontramos una reducción progresiva del peso de poda de 2019 a 2020 (26% en RDC; 9% en seco) aunque no significativa estadísticamente, y un incremento significativo en 2021 respecto a 2020 (113% en RDC; 133% en seco). El año más afectado por las condiciones de riego fue 2019, con una disminución del peso de poda en seco del 51%, frente al 35% en 2021.

Con respecto al factor año, las variables de crecimiento vegetativo correspondientes al crecimiento del tallo, área foliar total y peso de poda, tuvieron un comportamiento similar al observado en los parámetros productivos, obteniendo en todos ellos el valor más elevado en la campaña 2021 y presentando los valores más elevados bajo condiciones de RDC.

### 5.4. *Índice de Ravaz*

El índice de Ravaz osciló en RDC entre 3,6 de MC72 y 8,6 de MS49, con un valor medio de 5,6; frente a valores en seco que oscilaron entre 3,2 de MC72 y 10,1 de MS49, con un valor medio de 5,2 (Tabla 22). Los genotipos MS49 y MS104, mantuvieron un índice de Ravaz por encima de la media tanto en RDC como en seco. Si atendemos al efecto del tratamiento de riego, no hay diferencias significativas, salvo en el caso de MC80 y MC16 que redujeron su índice de Ravaz un 27% y 32% en seco, respectivamente. Tampoco se observaron diferencias significativas entre años.

## 6. Calidad de la uva (2018-2021)

Como se muestra en la Tabla 23, la calidad de la uva se estimó midiendo los siguientes parámetros: contenido en fenoles totales en piel y pepita (CFT, mg Kg uva<sup>-1</sup>) y antocianos (mg Kg uva<sup>-1</sup>) de la uva y contenido en mosto del °Baumé, pH, acidez total (AT, g/L tartárico), ácido tartárico (Tar, g/L), ácido málico (Mal, g/L) y las relaciones ácido tartárico/ácido málico (Tar/Mal) e índice de madurez (IM, °Baumé/acidez total). Los valores medios de todos estos parámetros variaron significativamente ( $p < 0,001$ ) entre los genotipos (G), pero solo algunos variaron significativamente entre los tratamientos de riego (R) y el año de estudio (A). Las interacciones más significativas ( $p < 0,001$ ) para todos los parámetros evaluados fueron G x A y G x R x A. Estos valores medios del periodo de estudio se obtuvieron a partir de los valores medios anuales que figuran en el Anexo 12. Además, en la tabla figuran los grupos de calidad fenólica, tanto para el CFT como para el contenido en antocianos, establecidos siguiendo la clasificación propuesta en el Anexo 13.

### 6.1. Contenido en fenoles totales

Como era de esperar, el contenido en fenoles totales en piel y pepita (CFT) fue significativamente superior en secano frente a RDC, con un incremento medio del 16%. En condiciones de RDC, el valor medio del CFT osciló entre los 2262 mg Kg uva<sup>-1</sup> de MC72 y los 3444 mg Kg uva<sup>-1</sup> de MC80, con un valor medio de todos los genotipos de 2662 mg Kg uva<sup>-1</sup>. En condiciones de secano, el rango osciló entre los 2415 mg Kg uva<sup>-1</sup> de MC72 y los 3884 mg Kg uva<sup>-1</sup> de MC80, con un valor medio significativamente superior de 3090 mg Kg uva<sup>-1</sup>. MC19, MC72 y MS104 presentaron valores del contenido fenólico por debajo de la media tanto en RDC como en secano, frente a MC16 y MC80 que presentaron valores del CFT por encima de la media en ambos tratamientos de riego. Los genotipos que en secano incrementaron en mayor porcentaje su CFT fueron MS49 (incremento del 47%) y MC19 (incremento del 15%). MC16 y MC72 fueron los genotipos que menos incremento presentaron en secano con un 9% y 7% respectivamente (Tabla 23). Teniendo en cuenta la clasificación de los genotipos en 'grupos de calidad' en base a los datos medios del CFT que se estableció en el programa de mejora de uva durante los años 2012 – 2017 (Anexo 13), se observó una tendencia a mejorar el 'grupo de calidad' en secano, destacando especialmente el genotipo MS49 (Tabla 23). Se detectó una correlación positiva entre la  $S_{\psi}$  y el CFT (Anexo 11), tanto en RDC ( $r = 0,36$ ) como en secano ( $r = 0,31$ ) con un nivel de probabilidad  $p < 0,001$ .

En cuanto al efecto del año, no hubo diferencias significativas entre años dentro de cada tratamiento de riego, pero sí entre tratamientos de riego dentro de un mismo año, siendo

2019 el año en el que más incrementó en seco el CFT en piel y pepita (20%), respecto a RDC, frente al 17% de 2021.

### 6.2. Antocianos

El contenido de antocianos fue significativamente superior en seco frente a RDC (Tabla 23), con un incremento medio del 10%. El valor medio en RDC osciló entre los 2015 mg Kg uva<sup>-1</sup> de MC72 y los 3059 mg Kg uva<sup>-1</sup> de MC16, con un valor medio de 2543 mg Kg uva<sup>-1</sup>. En condiciones de seco el rango osciló entre los 1983 mg Kg uva<sup>-1</sup> de MC72 y los 3544 mg Kg uva<sup>-1</sup> de MS49, con un valor medio de 2796 mg Kg uva<sup>-1</sup>. MC19, MC72 y MS104 presentaron valores por debajo de la media tanto en RDC como en seco; no obstante, solo MC72 presentó en seco un valor medio inferior a 2000 mg Kg uva<sup>-1</sup>. El incremento del contenido de antocianos en seco se dio en la mayoría de genotipos, excepto en los genotipos MC80 y MC72, que no mostraron diferencias significativas en sus valores medios entre tratamientos de riego. De nuevo se observó una tendencia a mejorar el 'grupo de calidad' en seco, en base al contenido de antocianos (Tabla 23). Se detectó una correlación positiva entre la  $S_{\psi}$  y el contenido en antocianos (Anexo 11), tanto en RDC ( $r = 0,22$ ) como en seco ( $r = 0,24$ ) para un nivel de probabilidad  $p < 0,001$ .

En cuanto al efecto del año, 2020 fue el año en el que significativamente se alcanzó el mayor contenido de antocianos dentro de RDC; sin embargo, no hubo diferencias significativas en condiciones de seco. Las mayores diferencias significativas entre tratamientos de riego, dentro de un mismo año, se dieron en 2019 con un incremento en seco del 21%, respecto a RDC, frente al 7% alcanzado en 2020.

Los genotipos MC16 y MC80 obtuvieron la mejor calificación fenólica para CFT y antocianos, tanto en RDC como en seco (Tabla 23).

### 6.3. Grado Baumé

El valor medio del °Baumé, medido en mosto, osciló en RDC entre 10,7 de MS104 y 14,2 de MC16, con un valor medio de 13,0 °Baumé. En condiciones de seco el rango osciló entre 10,5 de MS104 y 14,2 de MC16, con un valor medio de 12,9 °Baumé. El genotipo que alcanzó la madurez fisiológica con un menor contenido de azúcares y, por tanto, con un menor °Baumé fue MS104, tanto en las condiciones de RDC como en seco, con unos valores medios de 10,7 y 10,5 °Baumé, respectivamente (Tabla 23). Por el contrario, MC16 se vendimió con el °Baumé más elevado (14,2 °Baumé) tanto en RDC como en seco con unas diferencias, comparadas con MS104, del 33% (en RDC) y 35% (seco) superiores en MC16. El comportamiento esperado bajo las condiciones ensayadas sería que la disponibilidad de agua en RDC favoreciera la acumulación de azúcares, por lo que cabría esperar un mayor °Baumé en RDC frente a seco; y así ocurrió para la mayoría de



los genotipos (MC19, MC72, MC80 y MS104), aunque no fue significativo. Lo contrario ocurrió en el caso de MS49, que alcanzó la madurez fisiológica en seco, con un valor de °Baumé significativamente mayor que en RDC.

Respecto al efecto del año, en ningún año se observaron diferencias significativas entre tratamientos de riego, pero sí entre genotipos dentro de un mismo tratamiento de riego, siendo 2018 el año en el que se vendimió con un °Baumé medio inferior frente a 2020 que fue el año en el que se alcanzó un valor medio superior, tanto en RDC como en seco.

#### 6.4. pH

El valor medio en mosto del pH osciló en RDC entre pH 3,85 de MC80 y pH 4,04 de MC16, con un valor medio de pH 3,96. En condiciones de seco, el rango osciló entre pH 3,83 de MC80 y 4,11 de MC16 y MC72, con un valor medio de pH 3,98. Los valores medios de pH de MC19, MC80 y MS104 estuvieron por debajo del valor medio en RDC y seco. En cuanto al factor riego, no se observó influencia significativa entre tratamientos de riego.

Respecto a los valores entre años, tanto en RDC como en seco, los mayores valores medios de pH se alcanzaron en 2018 y 2021 frente a 2019 y 2020, tanto en RDC como en seco (Tabla 23); sin embargo, en ningún año se encontraron diferencias significativas entre tratamientos de riego.

#### 6.5. Acidez total

El valor medio de la acidez total en RDC osciló entre 3,64 g/L tartárico de MC19 y 4,51 g/L tartárico de MC16, con un valor medio de 4,06 g/L tartárico. En condiciones de seco, el rango osciló entre 3,51 g/L tartárico de MC19 y 4,90 g/L tartárico de MC16, con un valor medio de 4,10 g/L tartárico. Los valores medios de acidez total muestran que se produjo un ligero incremento no significativo de la acidez total en seco, respecto a RDC, siendo MC16, MC80 y MS49 los genotipos que presentaron un mayor incremento (9%, 8% y 6%, respectivamente). Por el contrario, MC19, MC72 y MS104 mostraron una disminución de la acidez total en condiciones de seco del 4%, 4% y 10%, respectivamente. MC16 y MS49 presentaron una acidez total media por encima del valor medio, tanto en RDC como en seco, a diferencia de lo que ocurrió con MC19 y MC72 (Tabla 23).

El año en el que se alcanzó el mayor valor medio de acidez total fue en 2019, tanto en RDC como en seco, y 2018 fue el año en el que se alcanzó el menor valor en ambas condiciones de riego. De nuevo, no se obtuvieron diferencias significativas dentro de un mismo año entre tratamientos de riego.

Tabla 23. Valores medios de parámetros de calidad de la uva bajo riego deficitario controlado (RDC) y secano.

Genotipo (G)	CFT piel-pepita (mg Kg uva <sup>-1</sup> )		Grupo calidad CFT		Antocianos (mg Kg uva <sup>-1</sup> )		Grupo calidad Antocianos		°Baumé		pH		AT (g/L tartárico)		Tar (g/L)		Mal (g/L)		Tar/Mal		IM	
	RDC	Secano	¥RDC	¥Secano	RDC	Secano	¥RDC	¥Secano	RDC	Secano	RDC	Secano	RDC	Secano	RDC	Secano	RDC	Secano	RDC	Secano	RDC	Secano
MC16	3222 <sup>d</sup> $\alpha$	3504 <sup>c</sup> $\beta$	3-4	4	3059 <sup>f</sup> $\alpha$	3349 <sup>e</sup> $\beta$	4	4	14,2 <sup>d</sup> $\alpha$	14,2 <sup>c</sup> $\alpha$	4,04 <sup>d</sup> $\alpha$	4,11 <sup>c</sup> $\alpha$	4,51 <sup>c</sup> $\alpha$	4,90 <sup>c</sup> $\alpha$	5,01 <sup>b</sup> $\alpha$	4,85 <sup>a</sup> $\alpha$	2,83 <sup>c</sup> $\alpha$	2,78 <sup>d</sup> $\alpha$	1,80 <sup>a</sup> $\alpha$	1,82 <sup>a</sup> $\alpha$	3,24 <sup>b</sup> $\beta$	2,95 <sup>b</sup> $\alpha$
MC19	2271 <sup>ab</sup> $\alpha$	2603 <sup>b</sup> $\beta$	2	2-3	2483 <sup>c</sup> $\alpha$	2645 <sup>c</sup> $\beta$	3	3-4	13,5 <sup>c</sup> $\alpha$	13,0 <sup>bc</sup> $\alpha$	3,95 <sup>bc</sup> $\alpha$	3,93 <sup>b</sup> $\alpha$	3,64 <sup>a</sup> $\alpha$	3,51 <sup>a</sup> $\alpha$	5,57 <sup>c</sup> $\alpha$	5,46 <sup>b</sup> $\alpha$	1,60 <sup>a</sup> $\beta$	1,25 <sup>a</sup> $\alpha$	3,63 <sup>d</sup> $\alpha$	4,43 <sup>d</sup> $\beta$	3,77 <sup>c</sup> $\alpha$	3,73 <sup>c</sup> $\alpha$
MC72	2262 <sup>a</sup> $\alpha$	2415 <sup>a</sup> $\beta$	2	2	2015 <sup>a</sup> $\alpha$	1983 <sup>a</sup> $\alpha$	2-3	2-3	13,9 <sup>cd</sup> $\alpha$	13,5 <sup>cd</sup> $\alpha$	4,02 <sup>cd</sup> $\alpha$	4,11 <sup>c</sup> $\alpha$	3,72 <sup>a</sup> $\beta$	3,59 <sup>a</sup> $\alpha$	5,71 <sup>c</sup> $\alpha$	5,47 <sup>b</sup> $\alpha$	2,12 <sup>b</sup> $\alpha$	2,04 <sup>b</sup> $\alpha$	2,73 <sup>b</sup> $\alpha$	2,78 <sup>b</sup> $\alpha$	3,74 <sup>c</sup> $\alpha$	3,77 <sup>c</sup> $\alpha$
MC80	3444 <sup>e</sup> $\alpha$	3884 <sup>d</sup> $\beta$	4	4	2916 <sup>e</sup> $\alpha$	2999 <sup>d</sup> $\alpha$	4	4	12,8 <sup>b</sup> $\alpha$	12,6 <sup>b</sup> $\alpha$	3,85 <sup>a</sup> $\alpha$	3,83 <sup>a</sup> $\alpha$	3,90 <sup>ab</sup> $\alpha$	4,21 <sup>b</sup> $\alpha$	4,51 <sup>a</sup> $\alpha$	4,85 <sup>a</sup> $\alpha$	1,51 <sup>a</sup> $\alpha$	1,43 <sup>a</sup> $\alpha$	3,13 <sup>c</sup> $\alpha$	3,47 <sup>c</sup> $\alpha$	3,46 <sup>bc</sup> $\alpha$	3,07 <sup>b</sup> $\alpha$
MS49	2421 <sup>c</sup> $\alpha$	3563 <sup>c</sup> $\beta$	2	4	2625 <sup>d</sup> $\alpha$	3544 <sup>f</sup> $\beta$	4	4	12,9 <sup>b</sup> $\alpha$	13,8 <sup>de</sup> $\beta$	4,01 <sup>cd</sup> $\alpha$	4,03 <sup>c</sup> $\alpha$	4,13 <sup>b</sup> $\alpha$	4,39 <sup>b</sup> $\alpha$	4,99 <sup>b</sup> $\alpha$	4,72 <sup>a</sup> $\alpha$	2,53 <sup>c</sup> $\alpha$	2,32 <sup>c</sup> $\alpha$	2,03 <sup>a</sup> $\alpha$	2,06 <sup>a</sup> $\alpha$	3,16 <sup>b</sup> $\alpha$	3,22 <sup>b</sup> $\alpha$
MS104	2391 <sup>bc</sup> $\alpha$	2688 <sup>b</sup> $\beta$	2	2-3	2218 <sup>b</sup> $\alpha$	2355 <sup>b</sup> $\beta$	2-3	3	10,7 <sup>a</sup> $\alpha$	10,5 <sup>a</sup> $\alpha$	3,88 <sup>ab</sup> $\alpha$	3,86 <sup>ab</sup> $\alpha$	4,50 <sup>c</sup> $\beta$	4,05 <sup>b</sup> $\alpha$	5,37 <sup>bc</sup> $\alpha$	5,08 <sup>ab</sup> $\alpha$	2,67 <sup>c</sup> $\beta$	1,94 <sup>b</sup> $\alpha$	2,19 <sup>a</sup> $\alpha$	2,74 <sup>b</sup> $\beta$	2,40 <sup>a</sup> $\alpha$	2,62 <sup>a</sup> $\beta$
Riego (R)	2662 <sup>a</sup>	3090 <sup>\beta</sup>	2-3	3	2543 <sup>\alpha</sup>	2796 <sup>\beta</sup>	3	4	13,0 <sup>\alpha</sup>	12,9 <sup>\alpha</sup>	3,96 <sup>\alpha</sup>	3,98 <sup>\alpha</sup>	4,06 <sup>\alpha</sup>	4,10 <sup>\alpha</sup>	5,20 <sup>\alpha</sup>	5,08 <sup>\alpha</sup>	2,21 <sup>\beta</sup>	1,96 <sup>\alpha</sup>	2,59 <sup>\alpha</sup>	2,88 <sup>\beta</sup>	3,30 <sup>\alpha</sup>	3,24 <sup>\alpha</sup>
Año (A)																						
2018	2686 <sup>a</sup> $\alpha$	3178 <sup>a</sup> $\beta$	2-3	3	2462 <sup>a</sup> $\alpha$	2899 <sup>a</sup> $\beta$	3	4	12,2 <sup>a</sup> $\alpha$	12,2 <sup>a</sup> $\alpha$	4,01 <sup>b</sup> $\alpha$	4,04 <sup>b</sup> $\alpha$	3,76 <sup>a</sup> $\alpha$	3,96 <sup>a</sup> $\alpha$	5,36 <sup>bc</sup> $\alpha$	5,18 <sup>b</sup> $\alpha$	2,04 <sup>a</sup> $\alpha$	1,95 <sup>ab</sup> $\alpha$	2,77 <sup>a</sup> $\alpha$	2,84 <sup>ab</sup> $\alpha$	3,26 <sup>ab</sup> $\alpha$	3,22 <sup>b</sup> $\alpha$
2019	2725 <sup>a</sup> $\alpha$	3277 <sup>a</sup> $\beta$	2-3	3-4	2544 <sup>a</sup> $\alpha$	3080 <sup>a</sup> $\beta$	3	4	13,0 <sup>ab</sup> $\alpha$	13,1 <sup>ab</sup> $\alpha$	3,91 <sup>a</sup> $\alpha$	3,88 <sup>a</sup> $\alpha$	4,62 <sup>b</sup> $\alpha$	5,05 <sup>b</sup> $\alpha$	5,14 <sup>ab</sup> $\alpha$	4,69 <sup>a</sup> $\alpha$	2,40 <sup>a</sup> $\alpha$	2,29 <sup>b</sup> $\alpha$	2,47 <sup>a</sup> $\alpha$	2,45 <sup>a</sup> $\alpha$	2,89 <sup>a</sup> $\alpha$	2,70 <sup>a</sup> $\alpha$
2020	2691 <sup>a</sup> $\alpha$	3182 <sup>a</sup> $\beta$	2-3	3	2730 <sup>b</sup> $\alpha$	2925 <sup>a</sup> $\beta$	4	4	13,2 <sup>b</sup> $\alpha$	13,3 <sup>b</sup> $\alpha$	3,89 <sup>a</sup> $\alpha$	3,94 <sup>ab</sup> $\alpha$	4,09 <sup>a</sup> $\alpha$	4,05 <sup>a</sup> $\alpha$	4,78 <sup>a</sup> $\alpha$	4,62 <sup>a</sup> $\alpha$	2,02 <sup>a</sup> $\alpha$	1,98 <sup>ab</sup> $\alpha$	2,60 <sup>a</sup> $\alpha$	2,63 <sup>ab</sup> $\alpha$	3,31 <sup>ab</sup> $\alpha$	3,34 <sup>b</sup> $\alpha$
2021	2665 <sup>a</sup> $\alpha$	3125 <sup>a</sup> $\beta$	2-3	3	2424 <sup>a</sup> $\alpha$	2655 <sup>a</sup> $\beta$	3	4	13,0 <sup>ab</sup> $\alpha$	12,7 <sup>ab</sup> $\alpha$	4,04 <sup>b</sup> $\alpha$	4,03 <sup>b</sup> $\alpha$	3,98 <sup>a</sup> $\alpha$	3,96 <sup>a</sup> $\alpha$	5,60 <sup>c</sup> $\alpha$	5,62 <sup>c</sup> $\alpha$	2,41 <sup>a</sup> $\beta$	1,84 <sup>a</sup> $\alpha$	2,55 <sup>a</sup> $\alpha$	3,28 <sup>b</sup> $\beta$	3,38 <sup>b</sup> $\alpha$	3,25 <sup>b</sup> $\alpha$
ANOVA	CFT piel-pepita (mg Kg uva <sup>-1</sup> )				Antocianos (mg Kg uva <sup>-1</sup> )				°Baumé		pH		AT (g/L tartárico)		Tar (g/L)		Mal (g/L)		Tar/Mal		IM	
G	***				***				***		***		***		***		***		***		***	
R	***				***				ns		ns		ns		ns		**		*		ns	
A	ns				***				**		***		***		***		ns		ns		**	
G x R	***				***				**		ns		**		ns		**		*		ns	
G x A	***				***				***		***		***		***		***		***		***	
R x A	ns				ns				ns		ns		ns		ns		*		*		ns	
G x R x A	***				***				***		***		***		***		***		***		***	

CFT, contenido en fenoles totales en piel-pepita; AT, acidez total; Tar, ácido tartárico; Mal, ácido málico; Tar/Mal, relación ácido tartárico/ácido málico; IM, índice de madurez expresado como la relación entre el °Baumé y la acidez total. ¥: clasificación según los valores mostrados en el Anexo 13. Separación de medias realizadas con el test de rangos múltiples de Duncan. Para cada genotipo y año, diferentes letras en la misma columna (a-f) indican diferencias significativas entre genotipos y años, respectivamente ( $p < 0,05$ ). Para cada parámetro de calidad, diferentes letras en la misma fila ( $\alpha, \beta$ ) indican diferencias significativas entre tratamientos de riego (prueba de rangos múltiples de Duncan,  $p < 0,05$ ). Análisis de varianza múltiple (ANOVA de tres vías) por genotipo (G), tratamiento de riego (R), año (A) y sus interacciones: ns: no significativo; \* $p < 0,05$ ; \*\* $p < 0,01$ ; \*\*\* $p < 0,001$

### 6.6. *Ácido tartárico*

El contenido de ácido tartárico en RDC osciló entre 4,51 g/L de MC80 y 5,71 g/L de MC72, con un valor medio de 5,20 g/L. En condiciones de secano, el rango osciló entre 4,72 g/L de MS49 y 5,47 g/L de MC72, con un valor medio de 5,08 g/L. El contenido medio de ácido tartárico en este ensayo tendió a disminuir en secano, respecto a RDC, pero no significativamente (Tabla 23). El contenido medio de ácido tartárico de MC19 y MC72 estuvo por encima del valor medio, tanto en RDC como en secano, a diferencia de lo que ocurrió con MC16, MC80 y MS49.

El año en el que se alcanzó el mayor valor medio de ácido tartárico fue en 2021, tanto en RDC como en secano, y 2020 fue el año en el que se alcanzó el menor valor en ambas condiciones de riego. De nuevo, no se dieron diferencias significativas dentro de un mismo año entre tratamientos de riego.

### 6.7. *Ácido málico*

El contenido de ácido málico en RDC osciló entre 1,60 g/L de MC19 y 2,83 g/L de MC16, con un valor medio de 2,21 g/L. En condiciones de secano, el rango osciló entre 1,25 g/L de MC19 y 2,78 g/L de MC16, con un valor medio de 1,96 g/L. En el caso del ácido málico, también hubo una tendencia a la disminución de su contenido en condiciones de secano, respecto a RDC, siendo significativa en MC19 (22% menor) y MS104 (27% menor). El contenido medio de ácido málico presentado por MC16 y MS49 estuvo por encima del valor medio, tanto en RDC como en secano, a diferencia de lo que ocurrió con MC19 y MC80. El mayor contenido de ácido málico se observó en MC16, coincidiendo con la mayor acidez total de este genotipo. En el caso contrario se encuentra MC19, que presentó el menor contenido de ácido málico y la acidez total más baja de todos los genotipos.

En condiciones de RDC, no hubo diferencias significativas entre los años de estudio para el contenido de ácido málico. Sí se observaron diferencias significativas en secano, siendo 2021 el año con el valor más bajo de ácido málico y 2019 el año con el mayor contenido. Solo se dieron diferencias significativas entre tratamientos de riego en 2021 (Tabla 23).

### 6.8. *Relación tartárico/málico*

Si atendemos a la relación ácido tartárico/ácido málico (Tar/Mal), el valor medio en RDC osciló entre el valor de MC16 (1,80) y el valor de MC19 (3,63), con un valor medio de 2,59. En condiciones de secano, el rango osciló entre el valor de MC16 (1,82) y el valor de MC19 (4,43), con un valor medio de 2,88. El valor de Tar/Mal inferior de MC16 podría

explicar su mayor acidez total, mientras que el valor superior de MC19 podría explicar su menor acidez total. Los valores medios de la relación tartárico/málico de MC19 y MC80 estuvieron por encima de la media, tanto en RDC como en secano, coincidiendo en ambos casos con los valores de ácido málico más bajos en ambos tratamientos de riego. La relación tartárico/málico incrementó significativamente en condiciones de secano en MC19 (22%) y MS104 (25%). Los genotipos MC16 y MS49 presentaron los valores de la relación Tar/Mal más bajos en ambos tratamientos de riego, coincidiendo a su vez con un contenido de ácido málico por encima del valor medio, tanto en condiciones de RDC como en secano (Tabla 23).

En condiciones de RDC, no se observaron diferencias significativas para esta relación entre los años de estudio, a diferencia de secano que presentó el menor valor en 2019 frente al mayor valor alcanzado en 2021, con valores en este año significativamente superiores en secano que en RDC.

### 6.9. Índice de madurez

La madurez fisiológica de los distintos genotipos se alcanzó con distinto °Baumé y acidez total, de ahí el interés en comparar el índice de madurez (IM) de los distintos genotipos en el momento de su vendimia, expresado como la relación entre el °Baumé y la acidez total (Tabla 23). El IM medio (2018-2021) varió significativamente ( $p < 0,001$ ) entre genotipos (G) y en términos de influencia de la interacción G x A y G x R x A. También se encontraron diferencias significativas ( $p < 0,01$ ) respecto al año de estudio (A), pero no entre tratamientos de riego (R). El valor medio en RDC osciló entre el valor de MS104 (2,40) y el valor de MC19 (3,77), situándose con un valor medio de 3,30. En condiciones de secano, el rango osciló entre el valor de MS104 (2,62) y el valor de MC72 (3,77), con un valor medio de 3,24. Por tanto, MS104 presentó los menores valores medios del IM bajo RDC y secano, mientras que MC19 presentó el mayor valor en RDC y MC72 en secano. Los genotipos MC19 y MC72 presentaron valores por encima de la media tanto en RDC como en secano, al contrario que MC16, MS49 y MS104. En general, las diferencias en los valores del IM están más relacionados con una disminución de la acidez total que con un incremento del grado Baumé.

No se observaron diferencias significativas entre tratamientos de riego, pero sí entre años, de manera que en RDC el menor IM se obtuvo en 2019, coincidiendo también en secano, y el mayor IM se dio en 2021 en RDC, mientras que en secano se obtuvo en 2020 (Tabla 23).

## V. Discusión



En esta tesis se muestra la variabilidad fenotípica generada mediante cruzamientos para la mayoría de los parámetros evaluados, coincidiendo con lo descrito por otros autores (Bayo-Canha et al., 2012; Costantini et al., 2008; Moreno-Olivares et al., 2020; Gil-Muñoz et al., 2021). Esta variabilidad puede ser explotada a la hora de seleccionar el material vegetal mejor adaptado a distintas condiciones de cultivo (Duchêne et al., 2012), y que presente las mejores características agronómicas y de calidad. Por ello, los resultados mostrados son de gran importancia, dado el riesgo que podrían sufrir en un futuro cercano las actuales zonas vitivinícolas semiáridas, principalmente debido a la escasez de agua y a las altas temperaturas previstas (Guiot y Cramer, 2016), que podrían provocar la exclusión de estas áreas de la producción de vino (Morales-Castilla et al., 2020). En estas regiones, la mayoría de las variedades cultivadas están adaptadas a las condiciones actuales de sequía, es decir, a la combinación de escasez de agua y altas temperaturas. Pese a ello, es posible que no resistan un clima más seco y cálido como se espera en las próximas décadas. De hecho, algunas de estas variedades ya están presentando problemas, como una disminución del contenido fenólico y acidez, junto con incrementos del pH (Martínez-Cutillas, 2003; Ruiz-García y Romero et al., 2018). De ahí la importancia de obtener y seleccionar nuevo material vegetal que pueda adaptarse a estas nuevas condiciones climáticas adversas, manteniendo una producción adecuada y de buena calidad en estas zonas de cultivo. Esta variabilidad fenotípica encontrada entre los seis nuevos genotipos estudiados nos ha permitido identificar aquellos que podrían adaptarse mejor al nuevo escenario climático en zonas semiáridas.

### *Efecto del riego, el genotipo y el año en los parámetros fenológicos*

La fenología de la vid determina la ventana de producción (Jackson, 2008) e influye en la capacidad de adaptación al cambio climático (Wolkovich et al., 2017). La sensibilidad al estrés hídrico por parte de la vid va a depender del estado fenológico en el que se produzca, así como de la variedad que se utilice (Levin et al., 2019; Cochetel et al., 2020). Por tanto, es de vital importancia tener en cuenta las características del material que se va a cultivar en un determinado lugar, para poder realizar un correcto diseño del viñedo y una buena planificación del manejo del cultivo (Dry y Coombe, 2004).

En nuestras condiciones experimentales no hemos encontrado un efecto significativo entre la disponibilidad de agua y los estados fenológicos. Mientras que, a nivel de genotipos y años, sí se observaron efectos significativos en todas las etapas fenológicas evaluadas (Fernández-López et al., 2022). La variabilidad fenológica a nivel de genotipos ha sido descrita también por diversos investigadores como Parker et al. (2011), Ferguson et al. (2014), y Zapata et al. (2017), la cual podría suponer una oportunidad para la adaptación de la viticultura al cambio climático, como bien describe Wolkovich et al. (2017) en

su revisión. Así, en nuestro caso, podemos seleccionar genotipos con un periodo de brotación-caída total de hoja más largo (MC72) o más corto (MS104), en función de las necesidades del viticultor y de las condiciones climáticas de la zona.

En cuanto a la variabilidad anual, las diferencias más importantes entre años se observaron en la fecha de vendimia, de manera que en el año 2020 se adelantó la vendimia significativamente, coincidiendo con el registro de la  $T_{MAX}$  diaria más elevada (35,1 °C) de todos los años estudiados durante el periodo envero-vendimia. Este adelanto se produjo particularmente en los genotipos de maduración más temprana, como MC19, MC72 y MS104. Se sabe que una temperatura elevada durante este periodo adelanta la maduración, siempre y cuando no se superen los 40 °C (Parent y Tardieu, 2012). La influencia de la temperatura en el adelanto de la maduración se ha observado en las últimas décadas como consecuencia del calentamiento global (Stocker et al., 2013). Por otro lado, en nuestro estudio se produjo un retraso significativo en los periodos de brotación y floración en 2019, probablemente como consecuencia de unas heladas que se dieron en la última semana de marzo (datos no mostrados). A pesar del efecto del año observado sobre los parámetros fenológicos evaluados, el comportamiento de los genotipos se mantuvo en general en los diferentes años. Por ejemplo, MC72 fue uno de los genotipos que llegó antes a las fechas de envero y vendimia, a diferencia de MC80 que fue uno de los más tardíos; MC72 fue uno de los genotipos que inició y finalizó más tarde la caída de hojas, a diferencia de MS104 que fue uno de los más tempranos (Fernández-López et al., 2022).

En las regiones vitivinícolas del sur de Europa, los escenarios climáticos pronostican un adelanto de las principales etapas fenológicas (brotación, floración, envero y maduración), junto con un incremento en la variabilidad interanual. De hecho, Fraga et al. (2016b) han descrito adelantos significativos de hasta 2 semanas en la península ibérica, lo cual tendrá importantes implicaciones para que se produzca un correcto desarrollo de la vid, influyendo en la calidad del vino (Fraga et al., 2015). Por ello, una de las estrategias de adaptación de la vid a las condiciones de escasez de agua y de altas temperaturas, como las que se dan en la Región de Murcia, es la selección dentro de los programas de mejora de variedades que presenten una maduración tardía para evitar las altas temperaturas durante esta etapa. Esto favorecerá una madurez más equilibrada y el desarrollo de aromas intensos, produciendo vinos afrutados gracias a que la maduración de las bayas no se produciría durante los meses más cálidos, evitando los efectos negativos de las altas temperaturas sobre el rendimiento y calidad de las uvas en el viñedo. De los seis genotipos estudiados, MC16 y MC80 fueron los más lentos y tardíos en madurar. Por tanto, serían buenos candidatos para alcanzar una madurez equilibrada en zonas de cultivo con veranos calurosos y altas temperaturas, tanto en condiciones de RDC como en secano.



### *Efecto del riego, el genotipo y el año en los parámetros fisiológicos*

La variabilidad de numerosas variedades de vid en cuanto a su sensibilidad al déficit hídrico a nivel de parámetros fisiológicos es bien conocida y ha sido objeto de estudio por diversos autores (Schultz, 2003; Rogiers et al., 2012; Hochberg et al., 2015; Martorell et al., 2015; Levin et al., 2019; Cochetel et al., 2020). Estos estudios ponen de manifiesto la existencia de diferentes respuestas al déficit hídrico entre las variedades de vid evaluadas. Un ejemplo de ello es un reciente ensayo realizado por Herrera et al. (2017), en el que concluyen que la variedad 'Merlot' es más sensible al estrés hídrico que 'Cabernet Sauvignon'. Comprender y conocer esta variabilidad es importante para mejorar las predicciones del comportamiento varietal en respuesta al clima y para optimizar las estrategias de riego (Gambetta et al., 2020). En nuestro estudio, todos los parámetros fisiológicos evaluados se vieron afectados por el régimen de riego, mostrando una sensibilidad distinta al estrés hídrico en función del genotipo y año.

En vid, el  $\Psi$  suele oscilar entre  $-0,3$  y  $-2,0$  MPa (Charrier et al., 2018). Todos los genotipos evaluados en esta tesis presentaron valores de  $\Psi_s$  dentro de este rango (Anexos 3, 5, 6 y 7). Los valores del  $\Psi_s$  registrados durante todo el período experimental, tuvieron unos patrones estacionales similares a los observados por otros autores en regiones semiáridas bajo condiciones de riego deficitario (Intrigliolo y Castel, 2009; Romero et al., 2010; Santesteban et al., 2011; Munitz et al., 2017) y secano (de la Hera et al., 2004; Junquera et al., 2012; Intrigliolo et al., 2016; Mancha et al., 2021). Como en nuestro estudio, los potenciales hídricos más negativos se registraron entre el periodo de envero y vendimia. En nuestro caso, se observó un incremento del estrés hídrico en secano, respecto de RDC, en torno al 14% en envero y al 16% en vendimia. Además, nuestros resultados muestran que existe un fuerte componente genético, respecto a la sensibilidad del  $\Psi_s$  y de la  $S_{\Psi}$  a la disponibilidad de agua. Así, el genotipo MS104 fue el menos sensible, presentado las menores diferencias entre tratamientos de riego, con una disminución media del  $\Psi_s$  en secano del 9% y un incremento de la  $S_{\Psi}$  del 16%; frente a MC16 que presentó una disminución media del  $\Psi_s$  en secano del 19% y un incremento de la  $S_{\Psi}$  del 34% (Tabla 15; Figura 5).

Ante un estrés hídrico que se desarrolla lentamente, una de las respuestas por parte de las plantas es el incremento del crecimiento de su sistema radicular (Potters et al., 2007; Shao et al., 2008). Al inicio del estudio (2018), las vides no tenían aún un sistema radicular adaptado a una situación de estrés hídrico. Por ello, en 2018, tanto en RDC como en secano, se registraron los potenciales hídricos más negativos durante los periodos de envero y vendimia de todos los años evaluados. Por el contrario, en 2020 se observaron los mayores potenciales hídricos en ambas condiciones de riego. Esto fue debido, posiblemente, a una mejor adaptación del sistema radicular por parte de los genotipos y a

una mayor disponibilidad hídrica, propiciada por una mayor acumulación de agua en el suelo debido a las precipitaciones y a una menor pérdida del agua por evapotranspiración.

Un problema al que nos enfrentábamos al evaluar plantas muy jóvenes en secano, es que no superaran el límite de  $-1,6$  MPa. Si los genotipos sobrepasaban ese  $\Psi_s$ , podía producirse una pérdida de turgencia y la cavitación del xilema, lo que podría conducir a una intensa caída de hojas e incluso a la mortalidad de los genotipos cultivados (Charrier et al., 2016; Gambetta et al., 2020). Por ello, cuando los genotipos sobrepasaron el umbral de  $-1,6$  MPa, se optó por aplicar un riego de apoyo. Hay que destacar que, durante todo el periodo estudiado (2018-2021), los genotipos MC80 y MS104 fueron los únicos que nunca superaron el umbral de  $-1,6$  MPa (Anexo 3, 5, 6 y 7). Este comportamiento los destaca como genotipos muy interesantes para su cultivo en secano y, por tanto, por su probable adaptación a la sequía.

Entre los diversos mecanismos fisiológicos que presenta la vid para evitar el déficit hídrico, el control estomático es sin duda el más importante de ellos (Tomás et al., 2014), siendo una de las primeras respuestas de la vid ante un déficit hídrico (Gambetta et al., 2020). La variabilidad genotípica en relación al cierre estomático se ha observado desde hace décadas, en diferentes variedades de vid e incluso en diferentes condiciones edafoclimáticas (Kriedemann y Smart, 1971; Charrier et al., 2018; Levin et al., 2019; Dayer et al., 2020). Un ejemplo de la gran variabilidad de esta característica queda reflejada en un reciente metaanálisis realizado por Lavoie-Lamoureux et al. (2017) sobre 40 estudios con diferentes variedades, en el que se mostró que al mismo nivel de potencial hídrico ( $-1,2$  MPa), la  $g_s$  variaba entre  $0,045$  y  $0,338$  mol  $m^{-2} s^{-1}$ .

En nuestras condiciones experimentales, observamos variabilidad en cuanto a la  $g_s$  a nivel de genotipos. A lo largo del ensayo (desde floración hasta poscosecha), las menores diferencias entre tratamientos de riego se observaron en el genotipo MC80, que presentó una disminución media de la  $g_s$  en secano del 19%; frente a MS49 que presentó la mayor disminución de la  $g_s$  en secano, en torno al 38% (Tabla 16). Durante el periodo de máximo estrés y bajo condiciones de secano, observamos diferentes comportamientos entre genotipos. En enero, la  $g_s$  del genotipo con el valor más bajo (MS49) fue un 33% inferior a la del genotipo con el mayor valor de  $g_s$  (MC72). Por otro lado, durante el periodo de vendimia, la  $g_s$  del genotipo con el valor más bajo (MC19) fue un 29% inferior a la del genotipo con el mayor valor de  $g_s$  (MC80).

El menor cierre de estomas medio tuvo lugar en 2020, tanto en enero como en vendimia, coincidiendo con el año en el que se alcanzó el mayor potencial hídrico medio (menor estrés hídrico). En cuanto al año 2021, hay que destacar que fue el año en el que se registraron las menores precipitaciones totales (321 mm) de las campañas estudiadas y no se

aplicaron riegos de apoyo. Esta situación pudo causar que los genotipos presentasen la menor  $g_s$  media durante el periodo de vendimia y poscosecha.

La relación observada en nuestro estudio entre el  $\Psi_s$  y la  $g_s$  (Figura 9 A), coincide con la obtenida por otros autores (Shultz et al., 2003; Koundouras et al., 2008; Romero et al., 2010), confirmando que se produce un cierre estomático temprano y progresivo a medida que el  $\Psi_s$  disminuye. A la vista de estos datos, la  $g_s$  es el parámetro fisiológico con el que se detecta antes un estrés hídrico moderado en los genotipos evaluados (Anexo 3, 5, 6 y 7). En general, los valores de la  $g_s$  inferiores a  $0,150 \text{ mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$  se observaron a finales de junio, durante el periodo de floración-cuajado. Mientras que con las medidas de  $\Psi_s$ , el estrés hídrico moderado se detectó en fechas próximas al periodo de envero. Este comportamiento concuerda con lo descrito por otros autores (Cifre et al., 2005; Romero et al., 2010), que afirman que la  $g_s$  es un indicador más sensible y preciso del estrés hídrico que el  $\Psi_s$ , cuando se aplica un déficit hídrico moderado.

En general, existe un consenso respecto a que bajo condiciones de estrés hídrico, el cierre estomático causa una reducción en la entrada de  $\text{CO}_2$ , lo cual explica la mayor parte de la reducción de la fotosíntesis (Gambetta et al., 2020). De acuerdo con la relación obtenida para la  $g_s$  y la  $A_N$  ( $r^2 = 0,95$ ), asumimos que en nuestro estudio el comportamiento de la  $A_N$  depende en gran medida de la  $g_s$  (Figura 9 D), de manera que la  $A_N$  disminuye a medida que aumenta el estrés hídrico en las vides (Figura 9 B, D), coincidiendo con otros autores en la existencia de una relación entre la reducción de la  $A_N$  y la reducción del  $\Psi_s$  y de la  $g_s$  (Baeza et al., 2007; Koundouras et al., 2008; Romero et al., 2010).

A nivel de genotipos, en nuestros resultados se observó una variabilidad en cuanto a la sensibilidad de la de la  $A_N$  al estado hídrico, con resultados similares a los observados en para la  $g_s$ . MC80 fue el genotipo menos afectado en secano, respecto de RDC, desde floración a poscosecha, con una reducción media de la  $A_N$  del 18% (Tabla 17). El genotipo con menor  $A_N$  en secano (MS49), durante el periodo de envero, presentó un valor un 22% inferior al del genotipo con mayor  $A_N$  (MC72). Por otro lado, durante la vendimia, MC19 presentó en secano la menor  $A_N$ , con un valor inferior en un 14% al de MC80, el genotipo con la mayor  $A_N$ . En base a estos resultados, podemos concluir que la disminución de la  $A_N$  para niveles similares de estrés es específica para cada genotipo, coincidiendo con otros autores (Tomás et al., 2014).

La mayor  $A_N$  media en envero y vendimia, en RDC y secano, tuvo lugar en los años 2020 y 2021 (Tabla 17), coincidiendo en 2020 con el año en el que se alcanzó el mayor potencial hídrico medio y una mayor conductancia estomática (menor estrés hídrico). Mientras que, en 2021, pese a presentar en vendimia la menor  $g_s$ , se mantuvo una buena tasa fotosintética en ambas condiciones de riego. Estos resultados, coinciden con los obtenidos

por otros autores en otros genotipos, que mantuvieron también una tasa fotosintética buena con conductancias bajas (Flexas et al., 1998; Chaves et al., 2010; Dayer et al., 2019).

Ante un estrés hídrico, el control estomático es fundamental para mejorar la  $A_N/g_s$  en la vid (Escalona et al., 2012, 2013; Tomás et al., 2014). En nuestro experimento se registraron los niveles más bajos de la  $A_N/g_s$  en el periodo de floración-cuajado y poscosecha, cuando los genotipos presentaron los valores más elevados de  $g_s$  (menos estrés). Mientras que los valores máximos de la  $A_N/g_s$ , se observaron durante los periodos de envero y vendimia (periodo de máximo estrés), cuando los genotipos presentaron valores de  $g_s$  entre 0,100 y 0,050 mol H<sub>2</sub>O m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup> (Anexo 3, 5, 6 y 7). Nuestros resultados confirman que la  $A_N/g_s$  incrementa a medida que disminuye la  $g_s$  ante una situación de estrés hídrico (Medrano et al., 2007).

A nivel de genotipo, observamos una variabilidad en cuanto a la sensibilidad de la  $A_N/g_s$  al estado hídrico de la planta. A lo largo del ensayo (desde floración hasta poscosecha), las menores diferencias entre tratamientos de riego se observaron en el genotipo MC80, que presentó un incremento medio de la  $A_N/g_s$  en seco, respecto del RDC, del 3%; frente a MS49 que presentó el mayor incremento medio de la  $A_N/g_s$  en seco, del 19% (Tabla 18). En el caso de MC80 fue debido a que, aunque partió en RDC con la menor conductancia estomática durante floración-cuajado, fue el genotipo menos afectado por el tratamiento de riego por lo que mantuvo en seco el mayor valor de conductancia durante la vendimia. Durante el periodo de máximo estrés y bajo condiciones de seco, observamos diferentes comportamientos entre genotipos, lo cual nos indica que hay un fuerte componente genético que afecta a la  $A_N/g_s$ . Así, durante el periodo de envero, MS49 presentó en seco la mayor  $A_N/g_s$ , con un valor superior en un 13% al de MS104, el genotipo con la menor  $A_N/g_s$ . Por otro lado, durante la vendimia, MC19 presentó en seco la mayor  $A_N/g_s$ , con un valor superior en un 16% al de MS104, el genotipo con la menor  $A_N/g_s$ .

La mayor  $A_N/g_s$  media en envero tuvo lugar en los años 2018, 2019 y 2021, coincidiendo en el caso de 2018 y 2019, con los años en los que se registró la menor  $g_s$  durante ese periodo (Tabla 18). En el caso de 2021, la alta  $A_N/g_s$  media fue debida principalmente a la alta  $A_N$  media que presentaron los genotipos en ambas condiciones de riego. Por otro lado, en el periodo de vendimia, la mayor  $A_N/g_s$  media tuvo lugar en el año 2021, coincidiendo con el registro de la  $g_s$  media más baja y el mantenimiento de una buena  $A_N$  media.

En nuestras condiciones experimentales, una de las relaciones más fuertes se dio entre la  $g_s$  y la  $A_N/g_s$  ( $r^2 = 0,61$ ), coincidiendo con lo observado por otros autores en regiones vitícolas semiáridas (Escalona et al., 1999; Medrano et al., 2002, 2007; Cifre et al., 2005; Koundouras et al., 2008; Romero et al., 2010). Atendiendo a la relación representada en

la Figura 9 E, entre la  $g_s$  y la  $A_N/g_s$ , se pueden distinguir dos fases diferentes en nuestro estudio, que se corresponderían con la fase 1 (sin estrés, para valores  $g_s > 0,150 \text{ mol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ ) y la fase 2 (estrés moderado, para valores  $g_s$  entre  $0,150$  y  $0,050 \text{ mol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ ) propuesta por Flexas et al. (2002), en relación al comportamiento estomático de la vid bajo un estrés hídrico. En la primera fase no se observó una mejora sustancial en la  $A_N$  cuando los valores de la  $g_s$  fueron superiores a  $0,150 \text{ mol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$  (Figura 9 D), lo que suscita que la  $A_N/g_s$  comience a disminuir a partir de  $0,150 \text{ mol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$  (Figura 9 E). En la segunda fase sí se observó una mejora sustancial de la  $A_N$  con respecto a los valores de la  $g_s$  (Figura 9 D), lo que causa un aumento de los valores de la  $A_N/g_s$  (Figura 9 E). Esta segunda fase, correspondiente a valores intermedios de  $g_s$ , podría usarse como un indicador fisiológico para optimizar la estrategia de riego y mantener estos nuevos genotipos dentro del rango de máxima eficiencia del uso del agua cuando se cultiven en condiciones semiáridas.

En cuanto a la relación observada entre el  $\Psi_s$  y la  $A_N/g_s$ , nuestros resultados coinciden con diversas publicaciones donde se concluye que con el mantenimiento de niveles moderados de estrés hídrico (en nuestro caso con  $\Psi_s$  entre  $-1,1$  y  $-1,3 \text{ MPa}$ ), las vides mejoran la  $A_N/g_s$  (Acevedo-Opazo et al., 2010; Romero et al., 2010, 2013; Gamero et al., 2014; Ayars et al., 2017; Levin et al., 2020; Shellie y King, 2020; Barbagallo et al., 2021; Mancha et al., 2021).

A pesar de observar una variabilidad interanual para los parámetros fisiológicos, el comportamiento de los genotipos se mantuvo en general en los diferentes años. Por ejemplo, en la mayoría de los años estudiados, MS104 fue el genotipo que presentó las menores diferencias entre tratamientos de riego, con respecto al potencial hídrico, y MC80 con respecto a los parámetros de intercambio gaseoso, a diferencia de MS49 que presentó las mayores diferencias entre tratamientos de riego para todos los parámetros fisiológicos.

Teniendo en cuenta los resultados obtenidos a partir de los parámetros fisiológicos evaluados, los genotipos MC80 y MS104 presentaron las menores diferencias entre tratamientos de riego para todos los parámetros fisiológicos evaluados, siendo los que menos estrés acumularon en secano ( $S_{\psi}$ ). Además, fueron los únicos que no superaron el umbral de  $-1,60 \text{ MPa}$  en secano, por lo que se perfilan como genotipos muy interesantes para su cultivo en condiciones de secano en regiones semiáridas, al presentar una buena regulación de su estado hídrico que podría facilitar su mejor adaptación a la sequía.

### *Efecto del riego, el genotipo y el año en los parámetros productivos*

Nuestros resultados confirman el efecto negativo del estrés hídrico sobre la producción total de las vides (Fernández-López et al., 2022), coincidiendo con lo señalado por otros autores (de la Hera et al., 2004; Girona et al., 2006; Romero et al., 2018; Pérez-Álvarez et

al., 2021). En nuestro diseño experimental, con el fin de evitar una influencia tanto en los parámetros productivos como en el crecimiento vegetativo del viñedo, se ajustó el número de brotes primarios a 12 brotes por cepa, en todos los genotipos, tratamientos de riego y años de estudio. De esta manera nos aseguramos que las diferencias observadas para cada parámetro fueran debidas a la disponibilidad de agua y a la propia naturaleza de los genotipos. Esta práctica también la han llevado a cabo en sus investigaciones otros investigadores como Romero et al. (2010), Baluja et al. (2012), Guilpart et al. (2014) y Gutiérrez- Gamboa et al. (2021).

A nivel del efecto acumulativo del estrés hídrico ( $S_{\psi}$ ), observamos un incremento medio en secano de hasta un 26%, respecto a RDC, correlacionado con una disminución de la producción total ( $\text{Kg vid}^{-1}$ ) en secano (Anexo 11). La reducción media en secano de la producción total ( $\text{Kg vid}^{-1}$ ) para el periodo de estudio (2018-2021) se situó en torno al 39%, debido principalmente a la reducción observada en el peso medio de los racimos (34%), bayas (20%) y número de racimos (11%). Otro aspecto a tener en cuenta es que esta respuesta depende del material vegetal utilizado (portainjerto-variedad), así como de las condiciones del suelo y clima donde se cultiven las vides (Carbonell-Bejerano et al., 2016; Keller y Molitor, 2017; Mirás-Ávalos et al., 2017). En nuestras condiciones de secano, MS104 fue el genotipo más productivo, con una producción hasta un 34% superior a la de los genotipos menos productivos (MC19 y MC72), coincidiendo por un lado con un mayor peso medio de racimo y de bayas de MS104, y con el menor número de racimos de MC19 y el menor peso medio de racimos de MC72 (Tabla 19). MC80 presentó la producción total menos afectada por las condiciones de secano en comparación con RDC, con una reducción media del 21%, principalmente debido a la menor reducción del peso del racimo (18%) y de la baya (6%). Mientras que MS49, fue el genotipo más afectado por las condiciones de secano, con una reducción media de la producción del 54% en comparación con RDC, principalmente debido a una mayor reducción en el peso del racimo (53%) y de la baya (41%).

Además, en ambas condiciones de riego se produjo una disminución de la producción total media en RDC (48%) y secano (62%) desde 2018 hasta 2020, acompañado también de una reducción media en el número (16% en RDC y 34% en secano) y peso medio de racimos (42% en RDC y 51% en secano). Un factor que pudo haber influido en esta disminución del rendimiento sería la acumulación de los efectos del estrés hídrico sufrido consecutivamente a lo largo de los años de estudio. Otro factor que pudo influir en la reducción del rendimiento y del peso medio del racimo en 2019 y 2020 son las temperaturas diurnas por encima de 35 °C. Cuando se superan los 35 °C durante el período que abarca desde la floración hasta el inicio del invierno, puede conducir a una reducción en el rendimiento, ya que tanto la floración como el cuajado se ven afectados negativamente

(Pagay y Collins, 2017). En el presente trabajo se registraron dichas temperaturas durante 7 días en este período en 2018, 10 días en 2019, 11 días en 2020 y 9 días en 2021. Además, después del periodo de vendimia, las vides acumulan reservas para el año siguiente y forman los meristemas reproductivos responsables de la producción del año siguiente (Hidalgo, 2002). Nuestros resultados muestran que, en 2020 durante esta fase hubo una mayor cantidad de precipitaciones que podría explicar el aumento del rendimiento, peso de racimo y peso de baya en la campaña de 2021. A pesar del efecto del año observado sobre los parámetros productivos evaluados, el comportamiento de los genotipos se mantuvo en general en los diferentes años. Por ejemplo, MS104 fue uno de los genotipos más productivos, en contraste con MC72 que fue uno de los de menor rendimiento (Fernández-López et al., 2022).

Respecto al tamaño de la baya, todos los genotipos mantuvieron un peso medio inferior a 1,80 g (uno de los criterios de calidad utilizados en la selección inicial), produciéndose una reducción del tamaño de la baya en condiciones de secano, respecto de RDC, que podría deberse al estrés hídrico sufrido en las etapas iniciales del desarrollo de la baya (Considine y Knox, 1979; Matthews et al., 1987; Zombardo et al., 2020). La reducción del peso medio de la baya estuvo acompañada de un incremento del aporte del hollejo (%hollejo) y semillas (%semillas) al peso de la baya, de manera que los genotipos aumentaron la relación hollejo/pulpa, coincidiendo con los datos obtenidos por otros autores (Roby et al., 2004; Chacón-Vozmediano et al., 2020). Estos resultados coinciden parcialmente con los obtenidos por Zombardo et al. (2020), que observaron que las vides que se encontraban bajo condiciones de secano tuvieron un mayor peso de hollejo; pero a diferencia de nuestro ensayo, el peso y número de semillas no mostraron diferencias significativas entre tratamientos de riego.

Estudios previos han señalado la importancia de la compacidad del racimo en la calidad de la uva, dado que influye en la iluminación de las bayas, en la homogeneidad de la maduración dentro del racimo, y en la susceptibilidad a enfermedades (Vail y Marois, 1991; Mullins et al., 1992). Desde este punto de vista, MC16, MC19 y MC72 son los genotipos que presentaron racimos menos compactos en ambas condiciones de cultivo y podrían ser interesantes en zonas vitícolas que presenten estos problemas.

#### *Efecto del riego, el genotipo y el año en el crecimiento vegetativo*

Los parámetros de crecimiento vegetativo, como el crecimiento del tallo, área foliar y peso de poda, son muy sensibles al estrés hídrico. A su vez, esta sensibilidad depende del material vegetal, es decir, de la variedad y portainjerto utilizados (Acevedo-Opazo et al., 2010; Medrano et al., 2015; Intrigliolo et al., 2016; Lavoie-Lamoureux et al., 2017). En nuestro ensayo, se produjeron fuertes reducciones en el tamaño medio del tallo, área

foliar y peso de poda en seco, respecto de RDC. Además, se observó una sensibilidad diferente entre genotipos y años evaluados.

Nuestros resultados mostraron una reducción media del tamaño medio del tallo en seco, respecto de RDC, coincidiendo con lo observado por otros autores (de la Hera et al., 2004; Romero et al., 2013; Pérez-Álvarez et al., 2021), siendo en nuestro caso del 25%. Esta reducción media la observamos durante los meses de mayo y junio, antes de que se registraran diferencias significativas en el potencial hídrico entre tratamientos de riego, lo que sugiere que el crecimiento de los tallos es un indicador muy sensible del estado hídrico de la vid, como reportó Kliewer et al. (1983). En nuestro caso, la reducción del crecimiento del tallo se produjo en el rango de  $\Psi_s$  entre -0,60 y -1,00 MPa. El mantenimiento del  $\Psi_s$  dentro de ese rango, fue suficiente para reducir el tamaño del tallo principal en seco sin afectar significativamente a la actividad fotosintética de los genotipos, al igual que observaron Romero et al. (2013) en 'Monastrell'. A nivel de genotipos, MC16 y MC80 fueron los menos afectados por la disponibilidad hídrica, con una reducción media del tamaño medio del tallo en seco, en comparación con RDC, del 7% y 9%, respectivamente. Mientras que MC19 y MS49 fueron los genotipos más afectados por las condiciones de seco, con una reducción media del 38% y 33%, respectivamente.

En cuanto a la variabilidad anual, en 2018 se registró la mayor longitud del tallo en todos los genotipos estudiados, sin diferencias significativas entre tratamientos de riego, posiblemente porque en 2018 las vides no habían acumulado efectos negativos de estrés hídrico de las dos campañas anteriores (2016 y 2017). En nuestro caso, la parada de crecimiento ocurrió durante el periodo de floración y cuajado (datos no mostrados). Durante este periodo, los genotipos no mostraron diferencias significativas entre tratamientos de riego, en ninguno de los parámetros fisiológicos evaluados (Anexo 3), por lo que los tallos se desarrollaron en las mismas condiciones de estrés hídrico, aunque con distinta disponibilidad de agua en RDC y seco. Mientras que en 2019 y 2020, se redujo significativamente la longitud del tallo en ambos tratamientos, con una reducción más acusada en condiciones de seco. En 2021, al igual que ocurrió con los parámetros productivos, el tamaño medio del tallo experimentó una recuperación volviendo a valores próximos a los observados al inicio del ensayo, debido posiblemente a la menor demanda evapotranspirativa y el menor estrés hídrico producido durante el periodo de máximo estrés en 2020, que permitió que las plantas entraran en el periodo de dormición (octubre 2020-marzo 2021) en un mejor estado hídrico, y por tanto, con una mayor acumulación de reservas.

Respecto al área foliar, nuestros resultados coinciden con los descritos por de la Hera et al. (2004), Intrigliolo y Castel (2009) y Pérez-Álvarez et al. (2021), donde las vides sometidas a tratamientos de riego deficitario obtuvieron mayor área foliar que las vides no regadas. En el año 2021 los genotipos presentaron el mayor área foliar total y el mayor



peso de poda en ambos tratamientos, coincidiendo con una mayor longitud media del tallo principal en ambas condiciones de riego. Al igual que ocurrió con la longitud media del tallo, la reducción del área foliar en el tratamiento de secano fue más marcada en los años 2019 y 2020 con una reducción del 41% y 36%. Asimismo, las vides cultivadas en condiciones de mayor estrés hídrico (en secano) presentaron un menor peso de madera de poda, coincidiendo con resultados obtenidos por otros autores (de la Hera et al., 2004; Santesteban et al., 2011; Romero et al., 2013; Buesa et al., 2017; Zuffrerey et al., 2017; Pérez-Álvarez et al., 2021). En nuestro experimento, la reducción del peso de poda también fue más marcada en los años 2019 y 2020 con un 51% y 40% respectivamente.

A nivel de genotipo, MC16 y MC80 fueron los genotipos que presentaron una menor reducción en secano, con respecto a RDC, tanto en el área foliar (20% y 21%, respectivamente) como en el peso de poda (15% y 8%, respectivamente). Mientras que los genotipos más sensibles al estrés hídrico fueron MC19 y MS104, presentando unas reducciones del 48% y 51% en el área foliar, y un 63% y 62% en el peso de poda.

El valor óptimo del índice de Ravaz (relación entre el rendimiento productivo y vegetativo) se ha establecido por otros autores entre 4 y 8 (Jackson y Lombard, 1993), correspondiéndose estos valores con un buen equilibrio entre producción y desarrollo vegetativo, así como con una buena calidad de la uva, alcanzando un alto contenido de sólidos solubles en las bayas y un alto contenido polifenólico. Atendiendo a este rango de valores, solo MC19 y MS104 se situaron en el rango óptimo del índice de Ravaz tanto en RDC como en secano; MC16 y MC80 vieron afectado significativamente este índice en secano, con una reducción del 32% y 27%, respectivamente, respecto de RDC. No obstante, aunque ambos genotipos se situaron por debajo del rango óptimo del índice de Ravaz en secano mantuvieron una elevada calidad fenólica. MC72 se mantuvo por debajo del rango óptimo en RDC y secano, presentando los mayores valores de peso de poda y de área foliar total, y la calidad fenólica más baja en RDC y secano (Tabla 23). Esta variabilidad entre genotipos observada en nuestro ensayo, también se ha observado en diferentes ensayos realizados bajo condiciones de riego deficitario con 'Monastrell' (Romero et al., 2018; Martínez-Moreno et al., 2022), 'Cabernet Sauvignon' (Würz et al., 2019; Montague et al., 2020) y 'Syrah' (Kurtural et al., 2013). Nuestros resultados confirman que el mejor estado hídrico de las plantas en el tratamiento de RDC condujo a producciones mayores y a un mejor equilibrio entre el desarrollo vegetativo y productivo, coincidiendo con otros autores (de la Hera et al., 2004).

### *Efecto del riego, el genotipo y el año en la calidad de la uva*

La calidad de la uva está determinada por diferentes parámetros fisicoquímicos como el contenido en azúcares, pH, acidez y compuestos fenólicos, proporcionando al vino el

grado alcohólico correspondiente, estabilidad, aromas, color, cuerpo y demás características enológicas propias de cada variedad.

Nuestros resultados mostraron una correlación positiva del estrés hídrico acumulado ( $S_{\psi}$ ) con el contenido de polifenoles totales y antocianos (Anexo 11), tanto en RDC como en secano, con un mayor incremento de estos compuestos en condiciones de secano (Fernández-López et al., 2022), coincidiendo con lo esperado (Roby et al., 2004; Chaves et al., 2010). Si bien todos los genotipos alcanzaron un CFT piel-pepita superior a 2400 mg Kg uva<sup>-1</sup>, en secano el genotipo con mayor contenido (MC80) superó en un 61% el contenido del genotipo con menor contenido (MC72). En el caso del contenido de antocianinas, la diferencia entre el genotipo con mayor (MS49) y menor (MC72) concentración fue de 79%, alcanzando todos los genotipos valores superiores a 1900 mg Kg uva<sup>-1</sup>. Estos resultados son de gran importancia dada la relación existente entre un alto contenido fenólico en las bayas y los atributos de calidad en el vino (aromas, color, cuerpo, etc.), especialmente en los vinos tintos (Kennedy et al., 2006; Ivanova et al., 2012; Gil-Muñoz et al., 2021).

Aunque la calidad fenólica se asocia con una reducción en la producción y un menor tamaño de la baya (Howell, 2001; Pérez-Álvarez et al., 2021), nuestros resultados muestran que existe un fuerte componente genotípico ya que las diferencias en el contenido fenólico no siempre coincidieron con las diferencias en el rendimiento. Por ejemplo, la producción más baja y el peso de baya más pequeño de MC72 y MC19 (Tabla 19) no se correlacionaron con el CFT piel-pepita más alto (Tabla 23), como era de esperar, mientras que la producción más alta de MS104 sí se correlacionó con uno de los contenidos más bajos de CFT piel-pepita (Anexo 11). Partiendo de estos resultados, es importante el diseño de nuevos experimentos que permitan evaluar y confirmar, en su caso, la mejor calidad del vino obtenido a partir de los genotipos con mayor contenido fenólico.

El 'grupo de calidad' fenólica de la uva se mantuvo estable, mejorando en el año 2020 en RDC para el contenido de antocianos, coincidiendo con el año más cálido durante el periodo de maduración (envero-vendimia). Los genotipos MC16 y MC80 se situaron en el 'grupo de calidad' más alto en RDC y secano, tanto para el CFT como para el contenido de antocianos, con valores muy superiores a los valores medios, coincidiendo con una mayor contribución del hollejo al peso de la baya, al igual que lo descrito por otros autores (Roby et al., 2004). Por el contrario, MC72 fue el genotipo que se mantuvo en el 'grupo de calidad' fenólica más bajo en RDC y secano (Fernández-López et al., 2022).

En general, cuando las vides tienen una adecuada disponibilidad de agua, el contenido de azúcar, el pH del mosto y la acidez total se espera que sean superiores que en condiciones de estrés hídrico (Dai, 2011). Sin embargo, en nuestro estudio, la mayor disponibilidad de agua en condiciones de RDC no pareció tener un efecto significativo sobre

estas variables, en concordancia con lo reportado por otros autores para acidez total (Alatzas et al., 2021), pH (de la Hera et al., 2005; Etchebarne et al., 2010; Cabral et al., 2022) y azúcares (Santesteban et al., 2011; Junquera et al., 2012; Casassa et al., 2015; Cabral et al., 2022).

Dentro de la variabilidad encontrada entre los genotipos analizados para la acumulación de azúcares en vendimia, se registraron diferencias de hasta 3,7 °Baumé, que permitirá seleccionar genotipos para la elaboración de vinos con mayor (MC16) o menor (MS104) grado alcohólico. Esta posibilidad es de gran importancia dado el incremento de la acumulación de azúcares que se produce con el aumento de las temperaturas, mientras que parte de los consumidores demandan vinos con bajo contenido alcohólico. Por otro lado, el pH influye en un gran número de facetas del vino relacionadas con el mantenimiento de su calidad y estabilidad. Los genotipos que presentaron mejor valor de pH fueron MC80 (pH 3,83) y MS104 (pH 3,86) frente a genotipos como MC16 o MC72 (pH 4,11).

La acidez es esencial en la calidad del vino, tanto desde el punto de vista de su conservación como de sus propiedades organolépticas, de manera que una reducción en la acidez total y, particularmente, en el ácido málico, puede tender a la elaboración de vinos desequilibrados y planos (Jones, 2007; Keller, 2010; Junquera et al., 2012). Por esta razón, en general, en climas cálidos es necesario realizar correcciones de acidez durante la fermentación para garantizar la conservación y la buena evolución del vino en el tiempo. En este sentido, las diferencias entre genotipos a nivel de acidez total fueron de hasta un 40% entre el genotipo de menor acidez (MC19) y el genotipo de mayor acidez (MC16); estas diferencias alcanzaron hasta el 16% en el caso del ácido tartárico entre MS49 (genotipo con menor contenido) y MC72 (genotipo con mayor contenido); y hasta un 12% en el caso del ácido málico entre MC19 (genotipo de menor contenido) y MC16 (genotipo de mayor contenido). Nuestros resultados confirman que la pérdida de acidez total se debe principalmente a un menor contenido de ácido málico en condiciones de secano (Fernández-López et al., 2022). Este comportamiento se ha observado en otras investigaciones, en las que vides sometidas a estrés hídrico mostraron una disminución del ácido málico (Girona et al., 2009; Intrigliolo y Castel, 2009; Bellvert et al., 2016; Cooley et al., 2017). Se sabe que, si el estrés hídrico se intensifica, el ácido málico se metaboliza más rápido (Bucchetti et al., 2011), mientras que los valores de ácido tartárico se mantienen más estables (Iland y Coombe, 1988). Esto podría explicar por qué la relación Tar/Mal fue significativamente mayor en condiciones de secano, confirmando aún más que la menor acidez registrada en algunos genotipos se debe principalmente a su menor contenido de ácido málico.

Las condiciones climáticas de las regiones semiáridas se han correlacionado con una mayor síntesis de antocianos y azúcares, y con una reducción de la acidez, siempre que no se superen los 35 °C, a partir de los cuales los antocianos dejan de acumularse e incluso

pueden degradarse (Spayd et al., 2002; Mori et al., 2007). Los resultados presentados en esta tesis muestran un efecto significativo del año en la mayoría de los parámetros de calidad evaluados, con algunas excepciones tales como el CFT piel-semilla, ácido málico, y el ratio Tar/Mal. En 2020, el año con el período de maduración (envero-vendimia) más cálido, hubo un aumento en la síntesis de antocianinas y en el °Baumé, mientras que se redujo el contenido de ácido tartárico. Sin embargo, a pesar del efecto del año sobre los parámetros evaluados, el comportamiento de los genotipos se mantuvo en general en los diferentes años. Por ejemplo, en la mayoría de los años estudiados, MC16 y MC80 fueron los genotipos en los que el aporte del hollejo al peso de la baya fue mayor, coincidiendo con los genotipos que presentaron una de las mayores concentraciones tanto de CFT piel-epita como de antocianos en la mayoría de los años de estudio; MS104 alcanzó la madurez fisiológica con un °Baumé más bajo, además de presentar uno de los valores de pH más bajos junto con MC80; finalmente, MC16 presentó la mayor acidez total, coincidiendo con el mayor contenido de ácido málico, en contraste con MC19 y MC72 que presentaron la menor acidez total en la mayoría de los años estudiados.

Dentro de la variabilidad encontrada entre los genotipos analizados, hay que destacar el genotipo MS104 que presentó el valor más bajo de °Baumé (media de 10,7 en RDC y 10,5 en secano), siendo muy interesante para la elaboración de vinos con bajo grado alcohólico, a la vez que mantuvo un contenido en fenoles, un pH y una acidez muy adecuadas, y una producción superior a la media. Este genotipo daría respuesta a unos de los objetivos planteados por los bodegueros que persiguen la elaboración de vinos con menor grado alcohólico en climas muy cálidos (Intrigliolo et al., 2016), dada la creciente demanda de los consumidores de vinos con bajo contenido de alcohol.

## VI. Conclusiones



Los resultados obtenidos en nuestras condiciones experimentales nos permiten establecer las siguientes conclusiones, a nivel de año, tratamiento de riego y genotipo:

#### *Efecto del año*

1. La mayoría de los parámetros evaluados se vieron afectados significativamente por el año de estudio, aunque el comportamiento de los genotipos se mantuvo en general en los diferentes años.
2. En el año más cálido, la vendimia se adelantó hasta 15 días y hubo un aumento en la síntesis de antocianos y en la acumulación de azúcares, reduciéndose el contenido de ácido tartárico.

#### *Efecto del tratamiento de riego*

3. La mayoría de los parámetros evaluados se vieron afectados significativamente por el tratamiento de riego, a excepción de los estados fenológicos y algunos parámetros de calidad de la uva como el °Baumé, el pH, la acidez total, el ácido tartárico y el índice de madurez.
4. La menor disponibilidad hídrica en condiciones de secano, respecto a RDC, causó un incremento del estrés hídrico, principalmente desde envero hasta vendimia, que se asoció con una caída significativa del potencial hídrico (de hasta un 14%), de la conductancia estomática (hasta un 40%) y de la tasa fotosintética (hasta un 34%), y con un incremento de la eficiencia intrínseca del uso del agua (de hasta un 8%).
5. Se confirma que la conductancia estomática es un indicador más sensible y preciso del estrés hídrico que el potencial hídrico, cuando se aplica un déficit hídrico moderado.
6. La producción total disminuyó hasta un 39% con el incremento del estrés hídrico en secano, mientras que el contenido fenólico incrementó hasta un 16% para el contenido de fenoles totales y hasta un 10% para el de antocianos.
7. El crecimiento vegetativo parece estar más afectado por la disponibilidad de agua que por el estrés hídrico sufrido por la planta.

#### *Efecto del genotipo*

8. Existe una variación fenotípica significativa entre los seis genotipos para la mayoría de los parámetros evaluados.
9. Desde envero hasta vendimia se detectó una diferencia de hasta 11 días entre el genotipo que presentó el periodo de maduración más corto (MC72) y los genotipos que

presentaron el periodo de maduración más largo (MC16 y MC80), con una diferencia de hasta 19 días para la fecha de vendimia.

10. El genotipo que acumuló más estrés hídrico en seco fue MC16, con un valor superior en un 17% al del genotipo que menos estrés hídrico acumuló (MS104), siendo MC16 el genotipo más afectado por las condiciones de riego y MS104 el menos afectado.

11. Desde el periodo de floración-cuajado hasta vendimia, la mayor reducción de la conductancia estomática en seco, respecto de RDC, la alcanzó MC16 con un 67%, frente al 48% de MC80, de manera que MC80 partió en RDC en floración-cuajado con la menor conductancia estomática, pero se mantuvo con el mayor valor en seco durante la vendimia.

12. En el periodo de máximo estrés (desde enero hasta vendimia), la mayoría de los genotipos mantuvieron una alta eficiencia intrínseca en el uso del agua en seco.

13. El genotipo más productivo en seco fue MS104, con una producción un 34% superior a la de los genotipos menos productivos (MC19 y MC72), siendo MC80 el genotipo menos afectado en su rendimiento por las condiciones de riego.

14. En seco, los genotipos MC19 y MS104 permanecieron en el rango óptimo del índice de Ravaz y, por tanto, presentaron un mayor equilibrio entre el desarrollo vegetativo y productivo.

15. Los genotipos MC80 y MS104 presentaron unos valores muy adecuados en condiciones de seco para la acidez total y el pH, manteniéndose además MC80 en el mejor 'grupo de calidad fenólica' y vendimiándose MS104 con un bajo contenido de azúcar, ideal para la elaboración de vinos con bajo grado alcohólico en zonas cálidas. Por tanto, ambos genotipos son buenos candidatos para una mejor adaptación a la sequía.



## VII. Anexos



Anexo 1. Cálculo del balance hídrico teórico de la plantación durante las campañas 2018-2021.

Fecha	Año 2018						Año 2019						Año 2020						Año 2021						
	ET <sub>0</sub> (mm)	Kc (FAO)	ETc (mm)	RDC (25-30%) (%)	ETc (25-30%) (mm)	ETc (25-30%) (%)	ET <sub>0</sub> (mm)	Kc (FAO)	ETc (mm)	RDC (25-30%) (%)	ETc (25-30%) (mm)	ETc (25-30%) (%)	ET <sub>0</sub> (mm)	Kc (FAO)	ETc (mm)	RDC (25-30%) (%)	ETc (25-30%) (mm)	ETc (25-30%) (%)	ET <sub>0</sub> (mm)	Kc (FAO)	ETc (mm)	RDC (25-30%) (%)	ETc (25-30%) (mm)	ETc (25-30%) (%)	
<b>Protección-Cuajado</b>																									
1 - 7 Abr	23,13	0,35	8,10	25%	2,02	2,02	22,32	0,35	7,81	25%	1,95	1,95	21,63	0,35	7,57	25%	1,89	1,89	21,53	0,35	7,54	25%	1,88	1,88	
8 - 14 Abr	24,46	0,35	8,56	25%	2,14	2,14	25,34	0,35	8,87	25%	2,22	2,22	25,21	0,35	8,82	25%	2,21	2,21	24,49	0,35	8,57	25%	2,14	2,14	
15 - 21 Abr	25,85	0,35	9,05	25%	2,26	2,26	25,61	0,35	8,96	25%	2,24	2,24	24,79	0,35	8,68	25%	2,17	2,17	24,61	0,35	8,61	25%	2,15	2,15	
22 - 30 Abr	35,69	0,35	12,49	25%	3,12	3,12	36,10	0,35	12,64	25%	3,16	3,16	33,87	0,35	11,85	25%	2,96	2,96	33,17	0,35	11,61	25%	2,90	2,90	
1 - 7 May	29,19	0,45	13,14	25%	3,28	3,28	31,00	0,45	13,95	25%	3,49	3,49	30,49	0,45	13,72	25%	3,43	3,43	30,63	0,45	13,78	25%	3,45	3,45	
8 - 14 May	30,94	0,45	13,92	25%	3,48	3,48	30,51	0,45	13,73	25%	3,43	3,43	32,08	0,45	14,44	25%	3,61	3,61	32,02	0,45	14,41	25%	3,60	3,60	
15 - 21 May	34,05	0,45	15,32	25%	3,83	3,83	33,68	0,45	15,16	25%	3,79	3,79	33,53	0,45	15,09	25%	3,77	3,77	32,63	0,45	14,68	25%	3,67	3,67	
22 - 31 May	50,07	0,45	22,53	25%	5,63	5,63	49,72	0,45	22,37	25%	5,59	5,59	50,66	0,45	22,80	25%	5,70	5,70	50,83	0,45	22,87	25%	5,72	5,72	
<b>Cuajado-Envero</b>																									
1 - 7 Jun	38,27	0,52	19,90	25%	4,98	4,98	36,81	0,52	19,14	25%	4,78	4,78	37,72	0,52	19,61	25%	4,90	4,90	37,25	0,52	19,37	25%	4,84	4,84	
8 - 14 Jun	38,95	0,52	20,25	25%	5,06	5,06	38,15	0,52	19,84	25%	4,96	4,96	39,30	0,52	20,44	25%	5,11	5,11	38,59	0,52	20,07	25%	5,02	5,02	
15 - 21 Jun	41,18	0,52	21,41	25%	5,35	5,35	41,19	0,52	21,42	25%	5,35	5,35	40,85	0,52	21,24	25%	5,31	5,31	40,55	0,52	21,08	25%	5,27	5,27	
22 - 30 Jun	55,94	0,52	29,09	25%	7,27	7,27	55,34	0,52	28,78	25%	7,19	7,19	54,92	0,52	28,56	25%	7,14	7,14	54,62	0,52	28,40	25%	7,10	7,10	
1 - 7 Jul	43,95	0,75	32,97	25%	8,24	8,24	43,53	0,75	32,65	25%	8,16	8,16	43,03	0,75	32,28	25%	8,07	8,07	42,64	0,75	31,98	25%	8,00	8,00	
8 - 14 Jul	43,87	0,75	32,91	25%	8,23	8,23	44,42	0,75	33,31	25%	8,33	8,33	44,56	0,75	33,42	25%	8,36	8,36	44,14	0,75	33,10	25%	8,28	8,28	
15 - 21 Jul	43,71	0,75	32,78	25%	8,20	8,20	42,71	0,75	32,03	25%	8,01	8,01	43,87	0,75	32,90	25%	8,23	8,23	43,64	0,75	32,73	25%	8,18	8,18	
22 - 26 Jul	31,90	0,75	23,93	30%	7,18	7,18	31,17	0,75	23,38	30%	7,01	7,01	31,11	0,75	23,34	30%	7,00	7,00	30,49	0,75	22,87	30%	6,86	6,86	
27 - 31 Jul	31,07	0,75	23,30	30%	6,99	6,99	30,68	0,75	23,01	30%	6,90	6,90	30,36	0,75	22,77	30%	6,83	6,83	30,00	0,75	22,50	30%	6,75	6,75	
<b>Envero-Cosecha</b>																									
1 - 7 Ago	41,68	0,75	31,26	30%	9,38	9,38	41,57	0,75	31,18	30%	9,35	9,35	40,82	0,75	30,61	30%	9,18	9,18	40,27	0,75	30,20	30%	9,06	9,06	
8 - 14 Ago	39,12	0,75	29,34	30%	8,80	8,80	37,75	0,75	28,31	30%	8,49	8,49	37,49	0,75	28,11	30%	8,43	8,43	38,13	0,75	28,60	30%	8,58	8,58	
15 - 21 Ago	37,42	0,6	22,45	30%	6,74	6,74	36,62	0,6	21,97	30%	6,59	6,59	36,35	0,60	21,81	30%	6,54	6,54	35,83	0,60	21,50	30%	6,45	6,45	
22 - 31 Ago	49,15	0,6	29,49	30%	8,85	8,85	49,97	0,6	29,98	30%	8,99	8,99	48,70	0,60	29,22	30%	8,77	8,77	48,27	0,60	28,96	30%	8,69	8,69	
1 - 7 Sept	30,80	0,6	18,48	30%	5,54	5,54	30,76	0,6	18,45	30%	5,54	5,54	30,00	0,60	18,00	30%	5,40	5,40	29,50	0,60	17,70	30%	5,31	5,31	
8 - 14 Sept	28,05	0,45	12,62	30%	3,79	3,79	27,74	0,45	12,48	30%	3,75	3,75	26,82	0,45	12,07	30%	3,62	3,62	26,97	0,45	12,14	30%	3,64	3,64	
15 - 21 Sept	25,04	0,45	11,27	30%	3,38	3,38	24,40	0,45	10,98	30%	3,29	3,29	24,05	0,45	10,82	30%	3,25	3,25	24,36	0,45	10,96	30%	3,29	3,29	
22 - 30 Sept	26,97	0,45	12,13	25%	3,03	3,03	25,32	0,45	11,39	25%	2,85	2,85	26,66	0,45	12,00	25%	3,00	3,00	27,75	0,45	12,49	25%	3,12	3,12	
<b>Postcosecha</b>																									
1 - 7 Oct	19,68	0,45	8,85	25%	2,21	2,21	19,71	0,45	8,87	25%	2,22	2,22	20,06	0,45	9,03	25%	2,26	2,26	19,96	0,45	8,98	25%	2,25	2,25	
8 - 14 Oct	17,54	0,45	7,89	25%	1,97	1,97	16,44	0,45	7,40	25%	1,85	1,85	17,16	0,45	7,72	25%	1,93	1,93	17,10	0,45	7,70	25%	1,92	1,92	
15 - 21 Oct	15,05	0,45	6,77	25%	1,69	1,69	14,46	0,45	6,51	25%	1,63	1,63	14,75	0,45	6,64	25%	1,66	1,66	14,79	0,45	6,66	25%	1,66	1,66	
22 - 31 Oct	19,38	0,45	8,72	25%	2,18	2,18	18,20	0,45	8,19	25%	2,05	2,05	18,59	0,45	8,37	25%	2,09	2,09	18,10	0,45	8,15	25%	2,04	2,04	

Evapotranspiración de referencia (ET<sub>0</sub>); Coeficientes de cultivo (Kc); Evapotranspiración del cultivo (ETc); Riego deficitario controlado (RDC)

## Anexo 2. Abonado de la plantación durante las campañas 2018-2021.

Fertilizante	Contenido Declarado	Abril-Octubre Abono
Urano orgánico	Nitrógeno total (N)	3%
	Nitrógeno orgánico	3%
	Óxido de Potasio (K <sub>2</sub> O) total	7%
	Materia orgánica total	40%
	Carbono orgánico	23%
	Relación C/N	12%
	Extracto Húmico total (medición facultativa)	29%
Ácidos fúlvicos (medición facultativa)	29%	
Nitrato Amónico	Nitrógeno total (N)	35%
	Nitrógeno amoniacal (NH <sub>4</sub> )	18%
	Nitrógeno nítrico (NO <sub>3</sub> )	17%
Nitrato Potásico	Nitrógeno nítrico (NO <sub>3</sub> )	13%
	Oxido de Potasio (K <sub>2</sub> O)	48%
Sulfato Magnesio	Óxido de Magnesio (MgO)	16%
	Soluble en agua	16%
	Trióxido de Azufre (SO <sub>3</sub> )	32%
	Soluble en agua	32%
	Mg Moles/Kg	4%
	S Moles/Kg	4%

Anexo 3. Medidas quincenales de potencial hídrico y parámetros del intercambio gaseoso en 2018.

Genotipo	Floración-cuajado												Vendimia																			
	13/06/2018				27/06/2018				07/07/2018				23/07/2018				07/08/2018				23/08/2018				04/09/2018				25/09/2018			
	RDC	Secano	RDC	Secano	RDC	Secano	RDC	Secano	RDC	Secano	RDC	Secano	RDC	Secano	RDC	Secano	RDC	Secano	RDC	Secano	RDC	Secano	RDC	Secano	RDC	Secano	RDC	Secano				
MC16	-0,73 <sup>a</sup>	α	-0,77 <sup>a</sup>	α	-1,05 <sup>a</sup>	α	-1,20 <sup>a</sup>	α	-1,23 <sup>a</sup>	β	-1,48 <sup>a</sup>	α	-1,65 <sup>ab</sup>	β	-1,42 <sup>ab</sup>	β	-1,66 <sup>ab</sup>	α	-1,50 <sup>ab</sup>	α	-1,60 <sup>ab</sup>	α	-1,35 <sup>abc</sup>	α	-1,19 <sup>a</sup>	α	-1,42 <sup>ab</sup>	α				
MC19	-0,73 <sup>a</sup>	α	-0,78 <sup>a</sup>	α	-0,94 <sup>abc</sup>	α	-1,10 <sup>a</sup>	α	-1,08 <sup>abc</sup>	β	-1,33 <sup>ab</sup>	α	-1,72 <sup>a</sup>	α	-1,42 <sup>ab</sup>	β	-1,73 <sup>a</sup>	α	-1,40 <sup>bcde</sup>	β	-1,73 <sup>a</sup>	α	-1,23 <sup>bc</sup>	β	-1,67 <sup>ab</sup>	α	-0,99 <sup>ab</sup>	β	-1,42 <sup>ab</sup>	α		
MC38	-0,87 <sup>a</sup>	α	-0,75 <sup>a</sup>	α	-0,98 <sup>abc</sup>	α	-1,07 <sup>a</sup>	α	-1,03 <sup>bc</sup>	α	-1,13 <sup>b</sup>	α	-1,55 <sup>abcd</sup>	α	-1,25 <sup>de</sup>	α	-1,58 <sup>ab</sup>	α	-1,30 <sup>e</sup>	β	-1,30 <sup>e</sup>	β	-1,58 <sup>ab</sup>	α	-1,18 <sup>c</sup>	α	-1,42 <sup>d</sup>	α	-1,02 <sup>ab</sup>	α		
MC49	-0,67 <sup>a</sup>	α	-0,68 <sup>a</sup>	α	-0,92 <sup>bc</sup>	α	-1,03 <sup>a</sup>	α	-1,12 <sup>abc</sup>	α	-1,23 <sup>b</sup>	α	-1,27 <sup>cde</sup>	α	-1,25 <sup>e</sup>	α	-1,60 <sup>ab</sup>	α	-1,33 <sup>de</sup>	β	-1,60 <sup>ab</sup>	α	-1,33 <sup>abc</sup>	β	-1,53 <sup>abcd</sup>	α	-1,08 <sup>ab</sup>	α	-1,33 <sup>ab</sup>	α		
MC56	-0,77 <sup>a</sup>	α	-0,80 <sup>a</sup>	α	-0,90 <sup>c</sup>	α	-1,12 <sup>a</sup>	α	-1,07 <sup>abc</sup>	α	-1,20 <sup>b</sup>	α	-1,17 <sup>de</sup>	β	-1,55 <sup>abcd</sup>	α	-1,62 <sup>ab</sup>	α	-1,33 <sup>de</sup>	β	-1,62 <sup>ab</sup>	α	-1,32 <sup>abc</sup>	β	-1,70 <sup>a</sup>	α	-1,08 <sup>ab</sup>	β	-1,57 <sup>a</sup>	α		
MC59	-0,67 <sup>a</sup>	α	-0,80 <sup>a</sup>	α	-0,94 <sup>abc</sup>	α	-1,02 <sup>a</sup>	α	-1,12 <sup>ab</sup>	α	-1,25 <sup>b</sup>	α	-1,40 <sup>abc</sup>	α	-1,40 <sup>abc</sup>	α	-1,46 <sup>b</sup>	α	-1,51 <sup>ab</sup>	α	-1,51 <sup>ab</sup>	α	-1,46 <sup>b</sup>	α	-1,45 <sup>ab</sup>	α	-1,51 <sup>abcd</sup>	α	-1,19 <sup>a</sup>	α		
MC72	-0,80 <sup>a</sup>	α	-0,73 <sup>a</sup>	α	-0,89 <sup>c</sup>	α	-1,13 <sup>a</sup>	α	-1,13 <sup>abc</sup>	α	-1,27 <sup>b</sup>	α	-1,30 <sup>bcd</sup>	β	-1,55 <sup>abcd</sup>	α	-1,65 <sup>ab</sup>	α	-1,38 <sup>cde</sup>	β	-1,65 <sup>ab</sup>	α	-1,13 <sup>c</sup>	β	-1,48 <sup>bcd</sup>	α	-0,94 <sup>b</sup>	β	-1,35 <sup>ab</sup>	α		
MC80	-0,70 <sup>a</sup>	α	-0,78 <sup>a</sup>	α	-0,87 <sup>c</sup>	α	-1,10 <sup>a</sup>	α	-1,03 <sup>bc</sup>	α	-1,17 <sup>b</sup>	α	-1,15 <sup>e</sup>	α	-1,35 <sup>de</sup>	α	-1,53 <sup>ab</sup>	α	-1,38 <sup>cde</sup>	α	-1,53 <sup>ab</sup>	α	-1,53 <sup>ab</sup>	α	-1,55 <sup>abcd</sup>	α	-1,23 <sup>a</sup>	α	-1,37 <sup>ab</sup>	α		
MC84	-0,78 <sup>a</sup>	α	-0,70 <sup>a</sup>	α	-1,04 <sup>ab</sup>	α	-1,20 <sup>a</sup>	α	-1,22 <sup>ab</sup>	α	-1,25 <sup>b</sup>	α	-1,43 <sup>ab</sup>	α	-1,58 <sup>abc</sup>	α	-1,63 <sup>ab</sup>	α	-1,43 <sup>bcd</sup>	α	-1,43 <sup>bcd</sup>	α	-1,63 <sup>ab</sup>	α	-1,26 <sup>abc</sup>	α	-1,50 <sup>a</sup>	α	-1,10 <sup>ab</sup>	β		
MS49	-0,73 <sup>a</sup>	α	-0,82 <sup>a</sup>	α	-0,95 <sup>abc</sup>	α	-1,08 <sup>a</sup>	α	-1,07 <sup>ab</sup>	α	-1,17 <sup>b</sup>	α	-1,27 <sup>cde</sup>	β	-1,42 <sup>cde</sup>	β	-1,57 <sup>ab</sup>	α	-1,45 <sup>bc</sup>	β	-1,45 <sup>bc</sup>	β	-1,57 <sup>ab</sup>	α	-1,50 <sup>a</sup>	α	-1,10 <sup>ab</sup>	β	-1,50 <sup>a</sup>	α		
MS104	-0,80 <sup>a</sup>	α	-0,85 <sup>a</sup>	α	-0,90 <sup>c</sup>	α	-1,18 <sup>a</sup>	α	-1,13 <sup>abc</sup>	α	-1,13 <sup>b</sup>	α	-1,50 <sup>a</sup>	α	-1,47 <sup>bcd</sup>	α	-1,57 <sup>ab</sup>	α	-1,57 <sup>ab</sup>	α	-1,57 <sup>ab</sup>	α	-1,48 <sup>bcd</sup>	α	-1,33 <sup>abc</sup>	α	-1,48 <sup>bcd</sup>	α	-1,09 <sup>ab</sup>	β		
<b>Riego</b>	<b>-0,75<sup>a</sup></b>	<b>α</b>	<b>-0,77<sup>a</sup></b>	<b>α</b>	<b>-0,94<sup>a</sup></b>	<b>α</b>	<b>-1,11<sup>a</sup></b>	<b>α</b>	<b>-1,12<sup>a</sup></b>	<b>α</b>	<b>-1,24<sup>a</sup></b>	<b>α</b>	<b>-1,32<sup>β</sup></b>	<b>β</b>	<b>-1,50<sup>α</sup></b>	<b>α</b>	<b>-1,59<sup>α</sup></b>	<b>α</b>	<b>-1,42<sup>β</sup></b>	<b>β</b>	<b>-1,59<sup>α</sup></b>	<b>α</b>	<b>-1,31<sup>β</sup></b>	<b>β</b>	<b>-1,55<sup>α</sup></b>	<b>α</b>	<b>-1,08<sup>β</sup></b>	<b>β</b>	<b>-1,38<sup>α</sup></b>	<b>α</b>		
MC16	0,075 <sup>a</sup>	α	0,101 <sup>ab</sup>	α	0,137 <sup>ab</sup>	α	0,153 <sup>abc</sup>	α	0,085 <sup>bc</sup>	α	0,075 <sup>a</sup>	α	0,096 <sup>a</sup>	α	0,045 <sup>ab</sup>	α	0,052 <sup>ab</sup>	α	0,117 <sup>ab</sup>	α	0,062 <sup>a</sup>	α	0,040 <sup>ab</sup>	α	0,070 <sup>a</sup>	α	0,051 <sup>abc</sup>	α	0,077 <sup>a</sup>	α		
MC19	0,087 <sup>ab</sup>	α	0,081 <sup>a</sup>	α	0,105 <sup>a</sup>	α	0,081 <sup>a</sup>	α	0,071 <sup>bc</sup>	α	0,042 <sup>a</sup>	α	0,051 <sup>a</sup>	α	0,039 <sup>ab</sup>	α	0,040 <sup>ab</sup>	α	0,148 <sup>b</sup>	α	0,075 <sup>ab</sup>	α	0,075 <sup>ab</sup>	α	0,142 <sup>b</sup>	β	0,071 <sup>abc</sup>	α	0,067 <sup>a</sup>	α		
MC38	0,089 <sup>ab</sup>	α	0,099 <sup>ab</sup>	α	0,156 <sup>ab</sup>	α	0,194 <sup>c</sup>	α	0,089 <sup>c</sup>	α	0,050 <sup>a</sup>	α	0,079 <sup>a</sup>	α	0,032 <sup>a</sup>	α	0,077 <sup>b</sup>	α	0,088 <sup>b</sup>	α	0,112 <sup>ab</sup>	α	0,088 <sup>b</sup>	α	0,143 <sup>b</sup>	α	0,089 <sup>c</sup>	α	0,077 <sup>a</sup>	α		
MC49	0,131 <sup>bcd</sup>	β	0,105 <sup>ab</sup>	α	0,159 <sup>ab</sup>	α	0,195 <sup>c</sup>	α	0,059 <sup>abc</sup>	α	0,065 <sup>a</sup>	α	0,072 <sup>a</sup>	α	0,045 <sup>ab</sup>	α	0,047 <sup>ab</sup>	α	0,098 <sup>ab</sup>	α	0,098 <sup>ab</sup>	α	0,047 <sup>ab</sup>	α	0,138 <sup>b</sup>	β	0,039 <sup>ab</sup>	α	0,087 <sup>a</sup>	α		
MC56	0,128 <sup>bcd</sup>	β	0,123 <sup>bcd</sup>	β	0,167 <sup>ab</sup>	α	0,101 <sup>a</sup>	α	0,072 <sup>bc</sup>	α	0,046 <sup>a</sup>	α	0,062 <sup>a</sup>	α	0,045 <sup>ab</sup>	α	0,045 <sup>ab</sup>	α	0,094 <sup>ab</sup>	α	0,094 <sup>ab</sup>	α	0,047 <sup>ab</sup>	α	0,096 <sup>ab</sup>	α	0,085 <sup>bc</sup>	α	0,090 <sup>a</sup>	α		
MC59	0,145 <sup>d</sup>	α	0,127 <sup>bcd</sup>	β	0,120 <sup>a</sup>	α	0,100 <sup>a</sup>	α	0,036 <sup>a</sup>	α	0,076 <sup>a</sup>	α	0,059 <sup>a</sup>	α	0,056 <sup>ab</sup>	α	0,075 <sup>ab</sup>	α	0,094 <sup>ab</sup>	α	0,094 <sup>ab</sup>	α	0,075 <sup>ab</sup>	α	0,124 <sup>ab</sup>	β	0,085 <sup>bc</sup>	α	0,090 <sup>a</sup>	α		
MC72	0,112 <sup>abcd</sup>	α	0,162 <sup>d</sup>	α	0,148 <sup>ab</sup>	α	0,113 <sup>ab</sup>	α	0,078 <sup>bc</sup>	β	0,039 <sup>a</sup>	α	0,055 <sup>a</sup>	α	0,059 <sup>a</sup>	α	0,104 <sup>ab</sup>	β	0,029 <sup>a</sup>	α	0,104 <sup>ab</sup>	β	0,029 <sup>a</sup>	α	0,124 <sup>ab</sup>	β	0,034 <sup>a</sup>	α	0,080 <sup>a</sup>	α		
MC80	0,141 <sup>cd</sup>	α	0,149 <sup>cd</sup>	α	0,143 <sup>ab</sup>	α	0,111 <sup>ab</sup>	α	0,048 <sup>ab</sup>	α	0,065 <sup>a</sup>	α	0,048 <sup>a</sup>	α	0,040 <sup>ab</sup>	α	0,062 <sup>a</sup>	α	0,065 <sup>ab</sup>	α	0,062 <sup>a</sup>	α	0,065 <sup>ab</sup>	α	0,080 <sup>abc</sup>	α	0,080 <sup>a</sup>	α	0,060 <sup>a</sup>	α		
MC84	0,123 <sup>bcd</sup>	β	0,128 <sup>bcd</sup>	β	0,198 <sup>b</sup>	α	0,178 <sup>bc</sup>	α	0,075 <sup>bc</sup>	α	0,092 <sup>a</sup>	α	0,090 <sup>a</sup>	α	0,064 <sup>ab</sup>	α	0,092 <sup>ab</sup>	α	0,064 <sup>ab</sup>	α	0,092 <sup>ab</sup>	α	0,064 <sup>ab</sup>	α	0,137 <sup>b</sup>	β	0,068 <sup>abc</sup>	α	0,090 <sup>a</sup>	β		
MS49	0,121 <sup>abcd</sup>	α	0,095 <sup>ab</sup>	α	0,119 <sup>a</sup>	α	0,121 <sup>ab</sup>	α	0,067 <sup>abc</sup>	α	0,033 <sup>a</sup>	α	0,062 <sup>a</sup>	α	0,044 <sup>ab</sup>	α	0,103 <sup>ab</sup>	α	0,027 <sup>a</sup>	α	0,103 <sup>ab</sup>	α	0,027 <sup>a</sup>	α	0,103 <sup>ab</sup>	α	0,043 <sup>abc</sup>	α	0,067 <sup>a</sup>	α		
MS104	0,098 <sup>abc</sup>	α	0,115 <sup>abc</sup>	α	0,160 <sup>ab</sup>	α	0,126 <sup>abc</sup>	α	0,036 <sup>a</sup>	α	0,089 <sup>a</sup>	α	0,052 <sup>a</sup>	α	0,045 <sup>ab</sup>	α	0,072 <sup>a</sup>	α	0,060 <sup>ab</sup>	α	0,072 <sup>a</sup>	α	0,060 <sup>ab</sup>	α	0,079 <sup>abc</sup>	α	0,103 <sup>a</sup>	β	0,060 <sup>a</sup>	α		
<b>Riego</b>	<b>0,114<sup>a</sup></b>	<b>α</b>	<b>0,117<sup>a</sup></b>	<b>α</b>	<b>0,147<sup>a</sup></b>	<b>α</b>	<b>0,134<sup>a</sup></b>	<b>α</b>	<b>0,065<sup>β</sup></b>	<b>β</b>	<b>0,063<sup>α</sup></b>	<b>α</b>	<b>0,066<sup>β</sup></b>	<b>β</b>	<b>0,047<sup>α</sup></b>	<b>α</b>	<b>0,057<sup>α</sup></b>	<b>α</b>	<b>0,097<sup>β</sup></b>	<b>β</b>	<b>0,057<sup>α</sup></b>	<b>α</b>	<b>0,110<sup>β</sup></b>	<b>β</b>	<b>0,064<sup>α</sup></b>	<b>α</b>	<b>0,083<sup>β</sup></b>	<b>β</b>	<b>0,057<sup>α</sup></b>	<b>α</b>		

RDC, riego deficitario controlado; Ψs, potencial hídrico; gs, conductancia estomática; An/gs, eficiencia intrínseca del uso del agua. Separación de medias realizadas con el test de rangos múltiples de Duncan. Para cada periodo fenológico y genotipo, diferentes letras en la misma columna (a-e) indican diferencias significativas entre genotipos ( $p < 0,05$ ). Para cada parámetro fisiológico, diferentes letras en la misma fila ( $\alpha, \beta$ ) indican diferencias significativas entre tratamientos de riego ( $p < 0,05$ ).

Continuación Anexo 3. Medidas quincenales de potencial hídrico y parámetros del intercambio gaseoso en 2018.

Genotipo	Floración-cuajado												Verdimia																			
	13/06/2018				27/06/2018				07/07/2018				23/07/2018				07/08/2018				23/08/2018				04/09/2018				25/09/2018			
	RDC	Secano	RDC	Secano	RDC	Secano	RDC	Secano	RDC	Secano	RDC	Secano	RDC	Secano	RDC	Secano	RDC	Secano	RDC	Secano	RDC	Secano	RDC	Secano	RDC	Secano	RDC	Secano				
MC16	12,47	14,93	15,96	17,26	11,71	17,12	10,72	8,75	10,18	11,92	6,63	11,98	7,43	11,98	6,63	11,98	7,43	11,98	6,63	11,98	7,43	11,98	6,63	11,98	7,43	11,98	6,63	11,98	7,43	11,98		
MC19	13,83	13,03	12,49	10,72	9,30	10,48	5,85	6,75	4,89	7,35	5,25	8,01	6,37	7,35	5,25	8,01	6,37	7,35	5,25	8,01	6,37	7,35	5,25	8,01	6,37	7,35	5,25	8,01	6,37	7,35		
MC38	13,47	14,17	17,21	17,40	11,42	12,54	5,35	8,32	4,68	12,79	9,19	11,67	8,82	12,79	9,19	11,67	8,82	12,79	9,19	11,67	8,82	12,79	9,19	11,67	8,82	12,79	9,19	11,67	8,82	12,79		
MC49	16,60	14,93	17,97	17,43	8,70	10,37	7,83	7,91	8,91	11,34	8,64	10,37	7,83	7,91	8,91	11,34	8,64	10,37	7,83	7,91	8,91	11,34	8,64	10,37	7,83	7,91	8,91	11,34	8,64	10,37		
MC56	16,73	16,97	15,67	13,19	8,71	8,22	5,93	7,64	5,59	10,11	5,56	13,35	4,58	10,11	5,56	13,35	4,58	10,11	5,56	13,35	4,58	10,11	5,56	13,35	4,58	10,11	5,56	13,35	4,58	10,11		
MC59	18,23	17,20	13,77	11,37	4,77	11,33	7,73	7,00	6,55	9,78	7,82	10,11	8,23	9,78	7,82	10,11	8,23	9,78	7,82	10,11	8,23	9,78	7,82	10,11	8,23	9,78	7,82	10,11	8,23	9,78		
MC72	16,30	19,40	15,49	15,95	10,37	13,62	6,75	7,80	3,38	10,47	3,65	12,43	4,06	10,47	3,65	12,43	4,06	10,47	3,65	12,43	4,06	10,47	3,65	12,43	4,06	10,47	3,65	12,43	4,06	10,47		
MC80	16,93	20,40	15,59	13,77	6,66	9,62	7,32	6,56	5,32	7,63	6,46	7,56	8,16	7,63	6,46	7,56	8,16	7,63	6,46	7,56	8,16	7,63	6,46	7,56	8,16	7,63	6,46	7,56	8,16	7,63		
MC84	19,07	20,53	17,56	17,17	9,33	12,23	9,61	10,67	8,14	10,26	7,74	12,66	8,72	10,26	7,74	12,66	8,72	10,26	7,74	12,66	8,72	10,26	7,74	12,66	8,72	10,26	7,74	12,66	8,72	10,26		
MS49	20,20	18,23	13,76	13,90	9,00	10,90	4,01	6,29	6,18	9,69	3,43	10,40	5,43	9,69	3,43	10,40	5,43	9,69	3,43	10,40	5,43	9,69	3,43	10,40	5,43	9,69	3,43	10,40	5,43	9,69		
MS104	17,87	20,47	17,99	16,29	5,21	10,31	10,70	6,66	6,74	9,22	6,98	9,13	7,45	9,22	6,98	9,13	7,45	9,22	6,98	9,13	7,45	9,22	6,98	9,13	7,45	9,22	6,98	9,13	7,45	9,22		
<b>Riego</b>	<b>16,52</b>	<b>17,30</b>	<b>15,77</b>	<b>14,95</b>	<b>8,65</b>	<b>10,97</b>	<b>7,21</b>	<b>7,80</b>	<b>6,11</b>	<b>10,05</b>	<b>6,59</b>	<b>10,99</b>	<b>7,16</b>	<b>10,05</b>	<b>6,59</b>	<b>10,99</b>	<b>7,16</b>	<b>10,05</b>	<b>6,59</b>	<b>10,99</b>	<b>7,16</b>	<b>10,05</b>	<b>6,59</b>	<b>10,99</b>	<b>7,16</b>	<b>10,05</b>	<b>6,59</b>	<b>10,99</b>	<b>7,16</b>	<b>10,05</b>		
MC16	169	150	119	122	138	142	123	109	161	106	130	114	109	106	130	114	109	106	130	114	109	106	130	114	109	106	130	114	109	106		
MC19	159	166	131	138	136	154	140	135	126	121	136	125	121	136	125	121	136	125	121	136	125	121	136	125	121	136	125	121	136	125		
MC38	158	150	112	95	129	131	88	120	150	86	130	111	118	86	130	111	118	86	130	111	118	86	130	111	118	86	130	111	118	86		
MC49	127	143	114	99	150	123	121	118	114	103	111	111	118	103	111	111	118	103	111	111	118	103	111	111	118	103	111	118	103	111		
MC56	136	139	102	132	121	111	115	124	129	109	110	110	124	109	110	110	124	109	110	110	124	109	110	110	124	109	110	110	124	109		
MC59	126	136	116	113	127	125	118	111	116	106	114	106	111	106	114	106	111	106	114	106	111	106	114	106	111	106	114	106	111	106		
MC72	148	120	106	142	132	149	107	135	127	104	118	104	135	104	118	104	135	104	118	104	135	104	118	104	135	104	118	104	135	104		
MC80	125	137	109	125	140	127	121	134	131	122	125	121	134	122	125	121	134	122	125	121	134	122	125	121	134	122	125	121	134	122		
MC84	158	163	89	97	125	135	111	120	132	112	121	121	132	112	121	121	132	112	121	121	132	112	121	121	132	112	121	121	132	112		
MS49	168	196	117	118	135	111	111	91	137	98	124	106	123	98	124	106	123	98	124	106	123	98	124	106	123	98	124	106	123	98		
MS104	188	179	114	131	140	156	114	132	155	127	119	114	132	127	119	114	132	127	119	114	132	127	119	114	132	127	119	114	132	127		
<b>Riego</b>	<b>151</b>	<b>153</b>	<b>112</b>	<b>119</b>	<b>134</b>	<b>133</b>	<b>109</b>	<b>121</b>	<b>134</b>	<b>109</b>	<b>119</b>	<b>104</b>	<b>115</b>	<b>109</b>	<b>119</b>	<b>104</b>	<b>115</b>	<b>109</b>	<b>119</b>	<b>104</b>	<b>115</b>	<b>109</b>	<b>119</b>	<b>104</b>	<b>115</b>	<b>109</b>	<b>119</b>	<b>104</b>	<b>115</b>	<b>109</b>		

RDC, riego deficitario controlado;  $\Psi_s$ , potencial hídrico; gs, conductancia estomática;  $A_N$ , tasa fotosintética;  $A_N/g_s$ , eficiencia intrínseca del uso del agua. Separación de medias realizadas con el test de rangos múltiples de Duncan. Para cada periodo fenológico y genotipo, diferentes letras en la misma columna (a-e) indican diferencias significativas entre genotipos ( $p < 0,05$ ). Para cada parámetro fisiológico, diferentes letras en la misma fila ( $\alpha, \beta$ ) indican diferencias significativas entre tratamientos de riego ( $p < 0,05$ ).

Anexo 4. Datos fenológicos medios (2018-2021) de seis genotipos cultivados bajo riego deficitario controlado (RDC) y secano.

Año	Genotipo	Brotación		Floración		Envero		Vendimia		Comienzo caída hoja		Final caída hoja	
		RDC	Secano	RDC	Secano	RDC	Secano	RDC	Secano	RDC	Secano	RDC	Secano
2018	MC16	7-abr. <sup>a</sup>	8-abr. <sup>a</sup>	23-may. <sup>a</sup>	26-may. <sup>ab</sup>	6-ago. <sup>bc</sup>	10-ago. <sup>ba</sup>	24-sep. <sup>e</sup>	20-sep. <sup>da</sup>				
	MC19	13-abr. <sup>cd</sup>	16-abr. <sup>b</sup>	28-may. <sup>ba</sup>	27-may. <sup>ab</sup>	3-ago. <sup>ab</sup>	5-ago. <sup>ab</sup>	12-ago. <sup>aa</sup>	24-sep. <sup>e</sup>				
	MC72	11-abr. <sup>abc</sup>	8-abr. <sup>a</sup>	27-may. <sup>ba</sup>	25-may. <sup>aa</sup>	31-jul. <sup>a</sup>	1-ago. <sup>aa</sup>	30-ago. <sup>b</sup>	28-ago. <sup>aa</sup>				
	MC80	15-abr. <sup>d</sup>	14-abr. <sup>b</sup>	28-may. <sup>ba</sup>	29-may. <sup>ba</sup>	8-ago. <sup>ca</sup>	10-ago. <sup>ba</sup>	2-oct. <sup>fa</sup>	2-oct. <sup>fa</sup>				
	MS49	9-abr. <sup>ab</sup>	8-abr. <sup>a</sup>	27-may. <sup>ba</sup>	26-may. <sup>ab</sup>	5-ago. <sup>bc</sup>	9-ago. <sup>ba</sup>	20-sep. <sup>c</sup>	9-sep. <sup>ca</sup>				
	MS104	12-abr. <sup>bcd</sup>	13-abr. <sup>ab</sup>	29-may. <sup>ab</sup>	27-may. <sup>ab</sup>	31-jul. <sup>a</sup>	4-ago. <sup>ab</sup>	6-sep. <sup>d</sup>	4-sep. <sup>ba</sup>				
	<b>Riego</b>	<b>11-abr.<sup>a</sup></b>	<b>11-abr.<sup>a</sup></b>	<b>27-may.<sup>a</sup></b>	<b>26-may.<sup>a</sup></b>	<b>4-ago.<sup>a</sup></b>	<b>6-ago.<sup>a</sup></b>	<b>10-sep.<sup>a</sup></b>	<b>14-sep.<sup>a</sup></b>				
	MC16	23-abr. <sup>b</sup>	24-abr. <sup>b</sup>	5-jun. <sup>ba</sup>	8-jun. <sup>b</sup>	8-ago. <sup>ca</sup>	11-ago. <sup>cb</sup>	2-sep. <sup>ba</sup>	2-sep. <sup>ba</sup>	29-oct. <sup>ba</sup>	29-oct. <sup>ba</sup>	28-nov. <sup>ca</sup>	28-nov. <sup>ca</sup>
	MC19	29-abr. <sup>d</sup>	5-may. <sup>d</sup>	13-jun. <sup>da</sup>	16-jun. <sup>d</sup>	5-ago. <sup>db</sup>	12-ago. <sup>cd</sup>	4-sep. <sup>ca</sup>	6-sep. <sup>cb</sup>	15-nov. <sup>ca</sup>	15-nov. <sup>ca</sup>	12-dic. <sup>da</sup>	12-dic. <sup>da</sup>
	MC72	15-abr. <sup>a</sup>	20-abr. <sup>a</sup>	30-may. <sup>aa</sup>	5-jun. <sup>a</sup>	2-ago. <sup>a</sup>	2-ago. <sup>aa</sup>	28-ago. <sup>aa</sup>	28-ago. <sup>aa</sup>	15-nov. <sup>ca</sup>	15-nov. <sup>ca</sup>	12-dic. <sup>da</sup>	12-dic. <sup>da</sup>
MC80	30-abr. <sup>d</sup>	27-abr. <sup>c</sup>	12-jun. <sup>da</sup>	11-jun. <sup>ca</sup>	14-ago. <sup>ca</sup>	13-ago. <sup>da</sup>	11-sep. <sup>ea</sup>	11-sep. <sup>ea</sup>	15-nov. <sup>ca</sup>	15-nov. <sup>ca</sup>	26-nov. <sup>ba</sup>	26-nov. <sup>ba</sup>	
MS49	25-abr. <sup>c</sup>	30-abr. <sup>c</sup>	7-jun. <sup>ca</sup>	12-jun. <sup>c</sup>	10-ago. <sup>d</sup>	15-ago. <sup>e</sup>	10-sep. <sup>da</sup>	10-sep. <sup>da</sup>	29-oct. <sup>ba</sup>	29-oct. <sup>ba</sup>	26-nov. <sup>ba</sup>	26-nov. <sup>ba</sup>	
MS104	29-abr. <sup>d</sup>	27-abr. <sup>b</sup>	12-jun. <sup>df</sup>	8-jun. <sup>ba</sup>	5-ago. <sup>b</sup>	6-ago. <sup>ba</sup>	4-sep. <sup>c</sup>	2-sep. <sup>ba</sup>	20-sep. <sup>aa</sup>	20-sep. <sup>aa</sup>	17-nov. <sup>aa</sup>	15-nov. <sup>aa</sup>	
<b>Riego</b>	<b>25-abr.<sup>a</sup></b>	<b>27-abr.<sup>a</sup></b>	<b>8-jun.<sup>a</sup></b>	<b>10-jun.<sup>β</sup></b>	<b>7-ago.<sup>a</sup></b>	<b>9-ago.<sup>β</sup></b>	<b>4-sep.<sup>a</sup></b>	<b>4-sep.<sup>a</sup></b>	<b>31-oct.<sup>a</sup></b>	<b>31-oct.<sup>a</sup></b>	<b>30-nov.<sup>a</sup></b>	<b>29-nov.<sup>a</sup></b>	
2020	MC16	16-abr. <sup>ba</sup>	16-abr. <sup>ba</sup>	29-may. <sup>cb</sup>	25-may. <sup>ba</sup>	9-ago. <sup>ca</sup>	8-ago. <sup>ba</sup>	11-sep. <sup>fa</sup>	11-sep. <sup>fa</sup>	29-sep. <sup>ba</sup>	29-sep. <sup>ba</sup>	1-dic. <sup>ca</sup>	5-dic. <sup>da</sup>
	MC19	16-abr. <sup>b</sup>	16-abr. <sup>b</sup>	30-may. <sup>ca</sup>	29-may. <sup>da</sup>	2-ago. <sup>ba</sup>	2-ago. <sup>ba</sup>	31-ago. <sup>ca</sup>	31-ago. <sup>ca</sup>	17-oct. <sup>c</sup>	13-oct. <sup>ca</sup>	1-dic. <sup>ca</sup>	1-dic. <sup>ca</sup>
	MC72	8-abr. <sup>aa</sup>	8-abr. <sup>aa</sup>	26-may. <sup>ba</sup>	26-may. <sup>ba</sup>	1-ago. <sup>ba</sup>	2-ago. <sup>ba</sup>	18-ago. <sup>aa</sup>	18-ago. <sup>aa</sup>	8-nov. <sup>e</sup>	4-nov. <sup>ea</sup>	9-dic. <sup>da</sup>	5-dic. <sup>da</sup>
	MC80	16-abr. <sup>b</sup>	16-abr. <sup>b</sup>	26-may. <sup>ba</sup>	27-may. <sup>ca</sup>	17-ago. <sup>ca</sup>	8-ago. <sup>df</sup>	1-sep. <sup>da</sup>	1-sep. <sup>da</sup>	27-oct. <sup>da</sup>	27-oct. <sup>da</sup>	3-dic. <sup>ca</sup>	7-dic. <sup>da</sup>
	MS49	16-abr. <sup>b</sup>	16-abr. <sup>b</sup>	25-may. <sup>ba</sup>	25-may. <sup>ba</sup>	9-ago. <sup>ca</sup>	11-ago. <sup>ca</sup>	4-sep. <sup>ea</sup>	4-sep. <sup>ea</sup>	15-oct. <sup>ca</sup>	12-oct. <sup>ca</sup>	17-nov. <sup>b</sup>	15-nov. <sup>ba</sup>
	MS104	8-abr. <sup>aa</sup>	8-abr. <sup>aa</sup>	20-may. <sup>aa</sup>	20-may. <sup>aa</sup>	30-jul. <sup>aa</sup>	31-jul. <sup>aa</sup>	26-ago. <sup>ba</sup>	26-ago. <sup>ba</sup>	20-sep. <sup>a</sup>	15-sep. <sup>a</sup>	9-nov. <sup>aa</sup>	9-nov. <sup>aa</sup>
	<b>Riego</b>	<b>13-abr.<sup>a</sup></b>	<b>13-abr.<sup>a</sup></b>	<b>26-may.<sup>a</sup></b>	<b>25-may.<sup>a</sup></b>	<b>6-ago.<sup>a</sup></b>	<b>5-ago.<sup>a</sup></b>	<b>30-ago.<sup>a</sup></b>	<b>30-ago.<sup>a</sup></b>	<b>14-oct.<sup>a</sup></b>	<b>14-oct.<sup>a</sup></b>	<b>26-nov.<sup>a</sup></b>	<b>27-nov.<sup>a</sup></b>
	MC16	15-abr. <sup>aa</sup>	14-abr. <sup>ab</sup>	24-may. <sup>aa</sup>	27-may. <sup>aa</sup>	11-ago. <sup>da</sup>	11-ago. <sup>da</sup>	22-sep. <sup>f</sup>	15-sep. <sup>da</sup>	13-oct. <sup>ba</sup>	12-oct. <sup>ba</sup>	23-nov. <sup>ba</sup>	25-nov. <sup>da</sup>
	MC19	25-abr. <sup>b</sup>	23-abr. <sup>d</sup>	1-jun. <sup>ca</sup>	31-may. <sup>da</sup>	6-ago. <sup>ca</sup>	6-ago. <sup>ca</sup>	3-sep. <sup>c</sup>	1-sep. <sup>ca</sup>	26-oct. <sup>d</sup>	24-oct. <sup>cd</sup>	28-nov. <sup>c</sup>	23-nov. <sup>cd</sup>
	MC72	12-abr. <sup>aa</sup>	11-abr. <sup>aa</sup>	24-may. <sup>aa</sup>	23-may. <sup>aa</sup>	1-ago. <sup>ba</sup>	2-ago. <sup>ba</sup>	30-ago. <sup>ba</sup>	30-ago. <sup>ba</sup>	1-nov. <sup>ea</sup>	30-oct. <sup>ea</sup>	27-nov. <sup>ca</sup>	27-nov. <sup>ea</sup>
MC80	16-abr. <sup>aa</sup>	19-abr. <sup>ca</sup>	28-may. <sup>ba</sup>	29-may. <sup>ca</sup>	9-ago. <sup>da</sup>	7-ago. <sup>ca</sup>	15-sep. <sup>ea</sup>	15-sep. <sup>ea</sup>	29-oct. <sup>da</sup>	26-oct. <sup>da</sup>	23-nov. <sup>ba</sup>	19-nov. <sup>ba</sup>	
MS49	13-abr. <sup>aa</sup>	13-abr. <sup>aa</sup>	31-may. <sup>ca</sup>	31-may. <sup>da</sup>	12-ago. <sup>ef</sup>	9-ago. <sup>ef</sup>	6-sep. <sup>d</sup>	1-sep. <sup>ca</sup>	19-oct. <sup>ca</sup>	21-oct. <sup>ca</sup>	22-nov. <sup>ba</sup>	20-nov. <sup>ba</sup>	
MS104	15-abr. <sup>aa</sup>	17-abr. <sup>bc</sup>	23-may. <sup>aa</sup>	25-may. <sup>bb</sup>	27-jul. <sup>aa</sup>	29-jul. <sup>aa</sup>	26-ago. <sup>aa</sup>	26-ago. <sup>aa</sup>	17-sep. <sup>a</sup>	11-sep. <sup>aa</sup>	2-nov. <sup>a</sup>	31-oct. <sup>aa</sup>	
<b>Riego</b>	<b>16-abr.<sup>a</sup></b>	<b>16-abr.<sup>a</sup></b>	<b>27-may.<sup>a</sup></b>	<b>28-may.<sup>a</sup></b>	<b>6-ago.<sup>a</sup></b>	<b>5-ago.<sup>a</sup></b>	<b>6-sep.<sup>a</sup></b>	<b>3-sep.<sup>a</sup></b>	<b>18-oct.<sup>a</sup></b>	<b>17-oct.<sup>a</sup></b>	<b>21-nov.<sup>a</sup></b>	<b>19-nov.<sup>a</sup></b>	

Separación de medias realizadas con el test de rangos múltiples de Duncan. Para cada genotipo y año, diferentes letras en la misma columna (a-f) indican diferencias significativas entre genotipos y años, respectivamente ( $p < 0,05$ ). Para cada estado fenológico, diferentes letras en la misma fila ( $\alpha, \beta$ ) indican diferencias significativas entre tratamientos de riego ( $p < 0,05$ ).

Anexo 5. Medidas quincenales de potencial hídrico y parámetros del intercambio gaseoso en 2019.

Genotipo	Floración-cuajado												Envero	
	03/06/2019		18/06/2019		03/07/2019		19/07/2019		29/07/2019		19/08/2019		RDC	Secano
	RDC	Secano	RDC	Secano	RDC	Secano	RDC	Secano	RDC	Secano	RDC	Secano		
$\Psi_s$ (MPa)	MC16	-0,72 <sup>b</sup>	-0,82 <sup>a</sup>	-0,78 <sup>a</sup>	-0,95 <sup>ab</sup>	-0,78 <sup>b</sup>	-1,12 <sup>a</sup>	-1,10 <sup>ab</sup>	-1,27 <sup>a</sup>	-1,16 <sup>a</sup>	-1,46 <sup>a</sup>	-1,39 <sup>a</sup>	-1,53 <sup>ab</sup>	-1,40 <sup>bc</sup>
	MC19	-0,77 <sup>b</sup>	-0,92 <sup>a</sup>	-0,81 <sup>a</sup>	-1,06 <sup>a</sup>	-0,84 <sup>ab</sup>	-0,98 <sup>ab</sup>	-1,02 <sup>ab</sup>	-1,20 <sup>a</sup>	-1,15 <sup>a</sup>	-1,34 <sup>a</sup>	-1,40 <sup>a</sup>	-1,51 <sup>ab</sup>	-1,40 <sup>bc</sup>
	MC72	-0,77 <sup>b</sup>	-0,90 <sup>a</sup>	-0,81 <sup>a</sup>	-0,89 <sup>b</sup>	-0,78 <sup>b</sup>	-0,97 <sup>ab</sup>	-1,00 <sup>ab</sup>	-1,23 <sup>a</sup>	-1,16 <sup>a</sup>	-1,31 <sup>a</sup>	-1,37 <sup>a</sup>	-1,51 <sup>ab</sup>	-1,40 <sup>bc</sup>
	MC80	-0,82 <sup>ab</sup>	-0,92 <sup>a</sup>	-0,78 <sup>a</sup>	-0,97 <sup>ab</sup>	-0,80 <sup>ab</sup>	-0,96 <sup>ab</sup>	-0,95 <sup>b</sup>	-1,08 <sup>a</sup>	-0,99 <sup>b</sup>	-1,30 <sup>a</sup>	-1,28 <sup>a</sup>	-1,31 <sup>c</sup>	-1,58 <sup>a</sup>
	MS49	-0,78 <sup>b</sup>	-0,87 <sup>a</sup>	-0,88 <sup>a</sup>	-0,89 <sup>b</sup>	-0,89 <sup>ab</sup>	-0,89 <sup>ab</sup>	-1,18 <sup>a</sup>	-1,08 <sup>ab</sup>	-1,23 <sup>a</sup>	-1,11 <sup>ab</sup>	-1,43 <sup>a</sup>	-1,36 <sup>a</sup>	-1,58 <sup>a</sup>
MS104	-1,00 <sup>a</sup>	-0,89 <sup>a</sup>	-0,89 <sup>a</sup>	-0,96 <sup>ab</sup>	-1,00 <sup>a</sup>	-0,86 <sup>b</sup>	-1,14 <sup>a</sup>	-1,09 <sup>a</sup>	-1,15 <sup>a</sup>	-1,24 <sup>a</sup>	-1,29 <sup>a</sup>	-1,41 <sup>abc</sup>	-1,41 <sup>abc</sup>	
<b>Riego</b>	<b>-0,81<sup>a</sup></b>	<b>-0,89<sup>a</sup></b>	<b>-0,82<sup>β</sup></b>	<b>-0,95<sup>β</sup></b>	<b>-0,85<sup>β</sup></b>	<b>-1,01<sup>α</sup></b>	<b>-1,05<sup>β</sup></b>	<b>-1,18<sup>α</sup></b>	<b>-1,12<sup>β</sup></b>	<b>-1,35<sup>α</sup></b>	<b>-1,35<sup>β</sup></b>	<b>-1,46<sup>α</sup></b>	<b>-1,46<sup>α</sup></b>	
$g_s$ (mol H <sub>2</sub> O m <sup>-2</sup> s <sup>-1</sup> )	MC16	0,266 <sup>bc</sup>	0,258 <sup>b</sup>	0,127 <sup>a</sup>	0,115 <sup>b</sup>	0,134 <sup>c</sup>	0,096 <sup>a</sup>	0,062 <sup>a</sup>	0,053 <sup>ab</sup>	0,090 <sup>b</sup>	0,044 <sup>a</sup>	0,062 <sup>ab</sup>	0,050 <sup>ab</sup>	
	MC19	0,179 <sup>a</sup>	0,177 <sup>a</sup>	0,069 <sup>a</sup>	0,081 <sup>ab</sup>	0,106 <sup>abc</sup>	0,101 <sup>a</sup>	0,063 <sup>a</sup>	0,059 <sup>b</sup>	0,078 <sup>ab</sup>	0,045 <sup>a</sup>	0,073 <sup>ab</sup>	0,047 <sup>ab</sup>	
	MC72	0,219 <sup>ab</sup>	0,219 <sup>ab</sup>	0,103 <sup>a</sup>	0,070 <sup>ab</sup>	0,122 <sup>bc</sup>	0,086 <sup>a</sup>	0,089 <sup>b</sup>	0,044 <sup>ab</sup>	0,090 <sup>b</sup>	0,040 <sup>a</sup>	0,098 <sup>b</sup>	0,049 <sup>ab</sup>	
	MC80	0,188 <sup>a</sup>	0,185 <sup>ab</sup>	0,109 <sup>a</sup>	0,065 <sup>ab</sup>	0,056 <sup>a</sup>	0,057 <sup>a</sup>	0,066 <sup>ab</sup>	0,049 <sup>ab</sup>	0,057 <sup>ab</sup>	0,038 <sup>a</sup>	0,072 <sup>ab</sup>	0,078 <sup>b</sup>	
	MS49	0,200 <sup>ab</sup>	0,217 <sup>ab</sup>	0,077 <sup>a</sup>	0,051 <sup>a</sup>	0,073 <sup>abc</sup>	0,065 <sup>a</sup>	0,057 <sup>a</sup>	0,033 <sup>a</sup>	0,048 <sup>a</sup>	0,029 <sup>a</sup>	0,077 <sup>ab</sup>	0,045 <sup>ab</sup>	
MS104	0,304 <sup>c</sup>	0,231 <sup>ab</sup>	0,086 <sup>a</sup>	0,088 <sup>ab</sup>	0,067 <sup>ab</sup>	0,091 <sup>a</sup>	0,069 <sup>ab</sup>	0,044 <sup>ab</sup>	0,046 <sup>a</sup>	0,038 <sup>a</sup>	0,057 <sup>a</sup>	0,027 <sup>a</sup>		
<b>Riego</b>	<b>0,226<sup>α</sup></b>	<b>0,214<sup>α</sup></b>	<b>0,095<sup>α</sup></b>	<b>0,078<sup>α</sup></b>	<b>0,093<sup>α</sup></b>	<b>0,083<sup>α</sup></b>	<b>0,068<sup>β</sup></b>	<b>0,047<sup>α</sup></b>	<b>0,068<sup>β</sup></b>	<b>0,039<sup>α</sup></b>	<b>0,073<sup>β</sup></b>	<b>0,049<sup>α</sup></b>	<b>0,049<sup>α</sup></b>	
AN (μmol CO <sub>2</sub> m <sup>-2</sup> s <sup>-1</sup> )	MC16	18,37 <sup>ab</sup>	18,73 <sup>b</sup>	13,18 <sup>b</sup>	12,48 <sup>b</sup>	12,56 <sup>bc</sup>	10,93 <sup>b</sup>	8,86 <sup>a</sup>	7,42 <sup>ab</sup>	11,44 <sup>bc</sup>	6,24 <sup>a</sup>	7,74 <sup>ab</sup>	6,45 <sup>ab</sup>	
	MC19	15,88 <sup>a</sup>	15,15 <sup>a</sup>	7,47 <sup>a</sup>	8,38 <sup>ab</sup>	11,14 <sup>abc</sup>	11,11 <sup>b</sup>	8,81 <sup>a</sup>	8,38 <sup>b</sup>	9,61 <sup>abc</sup>	6,55 <sup>a</sup>	9,63 <sup>ab</sup>	6,33 <sup>ab</sup>	
	MC72	17,75 <sup>ab</sup>	17,68 <sup>b</sup>	11,29 <sup>ab</sup>	7,93 <sup>ab</sup>	13,34 <sup>c</sup>	10,24 <sup>ab</sup>	11,90 <sup>b</sup>	6,90 <sup>ab</sup>	12,08 <sup>c</sup>	6,12 <sup>a</sup>	10,89 <sup>b</sup>	6,66 <sup>b</sup>	
	MC80	15,98 <sup>a</sup>	15,90 <sup>ab</sup>	10,02 <sup>ab</sup>	6,00 <sup>a</sup>	6,80 <sup>a</sup>	6,32 <sup>a</sup>	9,61 <sup>ab</sup>	6,70 <sup>ab</sup>	8,31 <sup>ab</sup>	5,90 <sup>a</sup>	9,38 <sup>ab</sup>	9,12 <sup>b</sup>	
	MS49	16,75 <sup>ab</sup>	16,95 <sup>ab</sup>	8,23 <sup>ab</sup>	5,43 <sup>a</sup>	9,08 <sup>ab</sup>	9,40 <sup>ab</sup>	7,92 <sup>a</sup>	5,31 <sup>a</sup>	6,51 <sup>a</sup>	4,95 <sup>a</sup>	9,66 <sup>ab</sup>	6,32 <sup>ab</sup>	
MS104	19,28 <sup>b</sup>	17,08 <sup>ab</sup>	8,55 <sup>ab</sup>	10,54 <sup>ab</sup>	9,14 <sup>ab</sup>	9,91 <sup>ab</sup>	8,86 <sup>a</sup>	6,16 <sup>ab</sup>	6,26 <sup>a</sup>	5,24 <sup>a</sup>	7,00 <sup>a</sup>	2,80 <sup>a</sup>		
<b>Riego</b>	<b>17,33<sup>α</sup></b>	<b>16,91<sup>α</sup></b>	<b>9,79<sup>α</sup></b>	<b>8,46<sup>α</sup></b>	<b>10,34<sup>α</sup></b>	<b>9,65<sup>α</sup></b>	<b>9,33<sup>β</sup></b>	<b>6,81<sup>α</sup></b>	<b>9,03<sup>β</sup></b>	<b>5,83<sup>α</sup></b>	<b>9,05<sup>β</sup></b>	<b>6,28<sup>α</sup></b>	<b>6,28<sup>α</sup></b>	
AN/g <sub>s</sub> (μmol CO <sub>2</sub> mol H <sub>2</sub> O <sup>-1</sup> )	MC16	69 <sup>ab</sup>	75 <sup>a</sup>	105 <sup>a</sup>	110 <sup>b</sup>	103 <sup>a</sup>	126 <sup>ab</sup>	145 <sup>a</sup>	146 <sup>ab</sup>	137 <sup>a</sup>	149 <sup>ab</sup>	132 <sup>a</sup>	136 <sup>ab</sup>	
	MC19	91 <sup>c</sup>	88 <sup>a</sup>	108 <sup>a</sup>	108 <sup>b</sup>	118 <sup>ab</sup>	118 <sup>a</sup>	142 <sup>a</sup>	142 <sup>ab</sup>	132 <sup>a</sup>	140 <sup>a</sup>	139 <sup>a</sup>	143 <sup>b</sup>	
	MC72	82 <sup>bc</sup>	85 <sup>a</sup>	112 <sup>a</sup>	116 <sup>b</sup>	111 <sup>ab</sup>	124 <sup>ab</sup>	139 <sup>a</sup>	159 <sup>ab</sup>	135 <sup>a</sup>	153 <sup>ab</sup>	116 <sup>a</sup>	136 <sup>b</sup>	
	MC80	87 <sup>c</sup>	86 <sup>a</sup>	98 <sup>a</sup>	74 <sup>a</sup>	123 <sup>ab</sup>	123 <sup>ab</sup>	145 <sup>a</sup>	139 <sup>a</sup>	146 <sup>a</sup>	157 <sup>ab</sup>	135 <sup>a</sup>	122 <sup>ab</sup>	
	MS49	84 <sup>c</sup>	80 <sup>a</sup>	106 <sup>a</sup>	104 <sup>ab</sup>	126 <sup>ab</sup>	145 <sup>b</sup>	146 <sup>a</sup>	162 <sup>b</sup>	140 <sup>a</sup>	172 <sup>b</sup>	128 <sup>a</sup>	141 <sup>b</sup>	
MS104	64 <sup>a</sup>	77 <sup>a</sup>	98 <sup>a</sup>	121 <sup>b</sup>	137 <sup>b</sup>	111 <sup>a</sup>	132 <sup>a</sup>	145 <sup>ab</sup>	139 <sup>a</sup>	138 <sup>a</sup>	125 <sup>a</sup>	101 <sup>a</sup>		
<b>Riego</b>	<b>80<sup>α</sup></b>	<b>82<sup>α</sup></b>	<b>104<sup>α</sup></b>	<b>105<sup>α</sup></b>	<b>120<sup>α</sup></b>	<b>124<sup>α</sup></b>	<b>141<sup>α</sup></b>	<b>149<sup>α</sup></b>	<b>138<sup>α</sup></b>	<b>152<sup>β</sup></b>	<b>129<sup>α</sup></b>	<b>130<sup>α</sup></b>	<b>130<sup>α</sup></b>	

RDC, riego deficitario controlado;  $\Psi_s$ , potencial hídrico;  $g_s$ , conductancia estomática; AN, tasa fotosintética; AN/g<sub>s</sub>, eficiencia intrínseca del uso del agua. Separación de medias realizadas con el test de rangos múltiples de Duncan. Para cada periodo fenológico y genotipo, diferentes letras en la misma columna (a-c) indican diferencias significativas entre genotipos ( $p < 0,05$ ). Para cada parámetro fisiológico, diferentes letras en la misma fila ( $\alpha, \beta$ ) indican diferencias significativas entre tratamientos de riego ( $p < 0,05$ ).



Continuación Anexo 5. Medidas quincenales de potencial hídrico y parámetros del intercambio gaseoso en 2019.

Genotipo	Vendimia						Poscosecha										
	29/08/2019			09/09/2019			23/09/2019			09/10/2019							
	RDC	Secano	RDC	Secano	RDC	Secano	RDC	Secano	RDC	Secano	RDC	Secano					
MC16	-1,31 <sup>a</sup>	-1,55 <sup>ab</sup>	-1,34 <sup>a</sup>	-1,59 <sup>ab</sup>	-0,43 <sup>a</sup>	-0,53 <sup>a</sup>	-0,47 <sup>abc</sup>	-0,51 <sup>a</sup>	MC19	-1,28 <sup>ab</sup>	-1,42 <sup>abc</sup>	-1,34 <sup>a</sup>	-1,48 <sup>b</sup>	-0,41 <sup>a</sup>	-0,47 <sup>ab</sup>	-0,56 <sup>a</sup>	-0,48 <sup>ab</sup>
MC72	-1,13 <sup>b</sup>	-1,38 <sup>bc</sup>	-1,30 <sup>a</sup>	-1,51 <sup>ab</sup>	-0,44 <sup>a</sup>	-0,42 <sup>ab</sup>	-0,50 <sup>abc</sup>	-0,49 <sup>ab</sup>	MC80	-1,37 <sup>a</sup>	-1,42 <sup>abc</sup>	-1,39 <sup>a</sup>	-1,53 <sup>ab</sup>	-0,44 <sup>a</sup>	-0,50 <sup>a</sup>	-0,52 <sup>ab</sup>	-0,50 <sup>ab</sup>
MS49	-1,25 <sup>ab</sup>	-1,58 <sup>a</sup>	-1,44 <sup>a</sup>	-1,70 <sup>a</sup>	-0,39 <sup>a</sup>	-0,47 <sup>ab</sup>	-0,43 <sup>bc</sup>	-0,39 <sup>bc</sup>	MS104	-1,12 <sup>b</sup>	-1,29 <sup>c</sup>	-1,24 <sup>a</sup>	-1,26 <sup>c</sup>	-0,34 <sup>a</sup>	-0,34 <sup>c</sup>	-0,41 <sup>c</sup>	-0,38 <sup>c</sup>
<b>Riego</b>	<b>-1,24<sup>β</sup></b>	<b>-1,44<sup>α</sup></b>	<b>-1,34<sup>β</sup></b>	<b>-1,51<sup>α</sup></b>	<b>-0,41<sup>α</sup></b>	<b>-0,45<sup>α</sup></b>	<b>-0,48<sup>α</sup></b>	<b>-0,46<sup>α</sup></b>	MC16	0,082 <sup>a</sup>	0,047 <sup>a</sup>	0,059 <sup>ab</sup>	0,056 <sup>a</sup>	0,154 <sup>a</sup>	0,115 <sup>a</sup>	0,096 <sup>a</sup>	0,115 <sup>ab</sup>
MC19	0,100 <sup>ab</sup>	0,058 <sup>ab</sup>	0,068 <sup>abc</sup>	0,047 <sup>a</sup>	0,122 <sup>a</sup>	0,112 <sup>a</sup>	0,107 <sup>ab</sup>	0,085 <sup>a</sup>	MC72	0,145 <sup>c</sup>	0,049 <sup>a</sup>	0,100 <sup>bc</sup>	0,056 <sup>a</sup>	0,176 <sup>a</sup>	0,121 <sup>a</sup>	0,149 <sup>b</sup>	0,129 <sup>ab</sup>
MC80	0,140 <sup>bc</sup>	0,101 <sup>b</sup>	0,103 <sup>c</sup>	0,061 <sup>a</sup>	0,175 <sup>a</sup>	0,149 <sup>a</sup>	0,151 <sup>b</sup>	0,150 <sup>b</sup>	MS49	0,112 <sup>abc</sup>	0,052 <sup>ab</sup>	0,101 <sup>bc</sup>	0,050 <sup>a</sup>	0,146 <sup>a</sup>	0,118 <sup>a</sup>	0,115 <sup>ab</sup>	0,087 <sup>a</sup>
MS104	0,133 <sup>bc</sup>	0,051 <sup>a</sup>	0,052 <sup>a</sup>	0,039 <sup>a</sup>	0,175 <sup>a</sup>	0,107 <sup>a</sup>	0,075 <sup>a</sup>	0,107 <sup>ab</sup>	<b>Riego</b>	<b>0,119<sup>β</sup></b>	<b>0,060<sup>α</sup></b>	<b>0,080<sup>β</sup></b>	<b>0,051<sup>α</sup></b>	<b>0,158<sup>β</sup></b>	<b>0,120<sup>α</sup></b>	<b>0,115<sup>α</sup></b>	<b>0,112<sup>α</sup></b>
MC16	8,84 <sup>a</sup>	6,03 <sup>a</sup>	6,29 <sup>a</sup>	6,35 <sup>a</sup>	11,58 <sup>a</sup>	10,32 <sup>a</sup>	8,27 <sup>ab</sup>	10,47 <sup>a</sup>	MC19	10,61 <sup>ab</sup>	7,03 <sup>ab</sup>	7,86 <sup>ab</sup>	6,05 <sup>a</sup>	11,21 <sup>a</sup>	10,28 <sup>a</sup>	9,93 <sup>bc</sup>	8,21 <sup>a</sup>
MC72	13,14 <sup>b</sup>	6,14 <sup>a</sup>	10,09 <sup>b</sup>	6,59 <sup>a</sup>	13,66 <sup>a</sup>	11,96 <sup>a</sup>	12,53 <sup>c</sup>	11,60 <sup>a</sup>	MC80	12,23 <sup>b</sup>	10,55 <sup>b</sup>	10,70 <sup>b</sup>	7,34 <sup>a</sup>	12,98 <sup>a</sup>	12,63 <sup>a</sup>	12,15 <sup>bc</sup>	11,35 <sup>a</sup>
MS49	11,53 <sup>ab</sup>	6,94 <sup>ab</sup>	10,54 <sup>b</sup>	6,61 <sup>a</sup>	12,70 <sup>a</sup>	10,71 <sup>a</sup>	9,54 <sup>abc</sup>	7,77 <sup>a</sup>	MS104	12,73 <sup>b</sup>	5,22 <sup>a</sup>	5,97 <sup>a</sup>	4,48 <sup>a</sup>	12,83 <sup>a</sup>	9,82 <sup>a</sup>	5,69 <sup>a</sup>	7,51 <sup>a</sup>
<b>Riego</b>	<b>11,51<sup>β</sup></b>	<b>6,98<sup>α</sup></b>	<b>8,58<sup>β</sup></b>	<b>6,24<sup>α</sup></b>	<b>12,49<sup>β</sup></b>	<b>10,95<sup>α</sup></b>	<b>9,69<sup>α</sup></b>	<b>9,48<sup>α</sup></b>	MC16	109 <sup>ab</sup>	131 <sup>b</sup>	114 <sup>a</sup>	110 <sup>a</sup>	76 <sup>a</sup>	95 <sup>a</sup>	86 <sup>a</sup>	96 <sup>bc</sup>
MC19	111 <sup>b</sup>	126 <sup>b</sup>	117 <sup>a</sup>	130 <sup>ab</sup>	94 <sup>b</sup>	93 <sup>a</sup>	94 <sup>a</sup>	97 <sup>c</sup>	MC72	92 <sup>ab</sup>	126 <sup>b</sup>	105 <sup>a</sup>	120 <sup>ab</sup>	78 <sup>a</sup>	99 <sup>a</sup>	84 <sup>a</sup>	92 <sup>bc</sup>
MC80	90 <sup>a</sup>	118 <sup>ab</sup>	106 <sup>a</sup>	131 <sup>ab</sup>	75 <sup>a</sup>	87 <sup>a</sup>	81 <sup>a</sup>	77 <sup>ab</sup>	MS49	107 <sup>ab</sup>	135 <sup>b</sup>	105 <sup>a</sup>	134 <sup>b</sup>	89 <sup>ab</sup>	93 <sup>a</sup>	85 <sup>a</sup>	84 <sup>abc</sup>
MS104	94 <sup>ab</sup>	90 <sup>a</sup>	111 <sup>a</sup>	115 <sup>ab</sup>	77 <sup>a</sup>	77 <sup>a</sup>	77 <sup>a</sup>	69 <sup>a</sup>	<b>Riego</b>	<b>101<sup>α</sup></b>	<b>121<sup>β</sup></b>	<b>110<sup>α</sup></b>	<b>123<sup>β</sup></b>	<b>81<sup>α</sup></b>	<b>93<sup>β</sup></b>	<b>84<sup>α</sup></b>	<b>86<sup>α</sup></b>

RDC, riego deficitario controlado;  $\Psi_s$ , potencial hídrico;  $g_s$ , conductancia estomática;  $A_N/g_s$ , tasa fotosintética;  $A_N/g_s$ , eficiencia intrínseca del uso del agua. Separación de medias realizadas con el test de rangos múltiples de Duncan. Para cada periodo fenológico y genotipo, diferentes letras en la misma columna ( $\alpha$ - $\beta$ ) indican diferencias significativas entre genotipos ( $p < 0,05$ ). Para cada parámetro fisiológico, diferentes letras en la misma fila ( $\alpha$ ,  $\beta$ ) indican diferencias significativas entre tratamientos de riego ( $p < 0,05$ ).

Anexo 6. Medidas quincenales de potencial hídrico y parámetros del intercambio gaseoso en 2020.

Genotipo	Floración-cuajado											
	28/05/2020		11/06/2020		26/06/2020		10/07/2020		24/07/2020		07/08/2020	
	RDC	Secano	RDC	Secano	RDC	Secano	RDC	Secano	RDC	Secano	RDC	Secano
MCI6	-0,61 <sup>b</sup>	-0,78 <sup>a</sup>	-0,84 <sup>a</sup>	-1,09 <sup>a</sup>	-0,88 <sup>a</sup>	-1,17 <sup>a</sup>	-1,08 <sup>a</sup>	-1,27 <sup>a</sup>	-1,16 <sup>a</sup>	-1,37 <sup>a</sup>	-1,23 <sup>a</sup>	-1,40 <sup>a</sup>
MCI19	-0,66 <sup>ab</sup>	-0,82 <sup>a</sup>	-0,90 <sup>a</sup>	-1,08 <sup>a</sup>	-0,89 <sup>a</sup>	-1,07 <sup>a</sup>	-1,04 <sup>a</sup>	-1,21 <sup>a</sup>	-1,14 <sup>a</sup>	-1,30 <sup>a</sup>	-1,18 <sup>a</sup>	-1,35 <sup>a</sup>
MCI72	-0,71 <sup>ab</sup>	-0,87 <sup>a</sup>	-0,85 <sup>a</sup>	-1,03 <sup>a</sup>	-0,94 <sup>a</sup>	-1,06 <sup>a</sup>	-1,02 <sup>a</sup>	-1,22 <sup>a</sup>	-1,12 <sup>a</sup>	-1,32 <sup>a</sup>	-1,19 <sup>a</sup>	-1,41 <sup>a</sup>
MCI80	-0,68 <sup>ab</sup>	-0,94 <sup>a</sup>	-0,94 <sup>a</sup>	-1,03 <sup>a</sup>	-0,98 <sup>a</sup>	-1,12 <sup>a</sup>	-1,05 <sup>a</sup>	-1,22 <sup>a</sup>	-1,15 <sup>a</sup>	-1,32 <sup>a</sup>	-1,23 <sup>a</sup>	-1,39 <sup>a</sup>
MS49	-0,71 <sup>ab</sup>	-0,84 <sup>a</sup>	-0,90 <sup>a</sup>	-0,97 <sup>a</sup>	-0,98 <sup>a</sup>	-1,09 <sup>a</sup>	-1,06 <sup>a</sup>	-1,22 <sup>a</sup>	-1,16 <sup>a</sup>	-1,28 <sup>a</sup>	-1,25 <sup>a</sup>	-1,38 <sup>a</sup>
MS104	-0,80 <sup>a</sup>	-0,89 <sup>a</sup>	-0,98 <sup>a</sup>	-0,99 <sup>a</sup>	-1,05 <sup>a</sup>	-1,02 <sup>a</sup>	-1,11 <sup>a</sup>	-1,10 <sup>a</sup>	-1,21 <sup>a</sup>	-1,20 <sup>a</sup>	-1,26 <sup>a</sup>	-1,30 <sup>a</sup>
<b>Riego</b>	<b>-0,69<sup>β</sup></b>	<b>-0,86<sup>α</sup></b>	<b>-0,90<sup>β</sup></b>	<b>-1,03<sup>α</sup></b>	<b>-0,95<sup>β</sup></b>	<b>-1,08<sup>α</sup></b>	<b>-1,06<sup>β</sup></b>	<b>-1,20<sup>α</sup></b>	<b>-1,16<sup>β</sup></b>	<b>-1,30<sup>α</sup></b>	<b>-1,22<sup>β</sup></b>	<b>-1,37<sup>α</sup></b>
MCI16	0,230 <sup>b</sup>	0,217 <sup>c</sup>	0,205 <sup>c</sup>	0,146 <sup>b</sup>	0,147 <sup>bc</sup>	0,056 <sup>ab</sup>	0,133 <sup>ab</sup>	0,066 <sup>a</sup>	0,129 <sup>a</sup>	0,074 <sup>a</sup>	0,106 <sup>a</sup>	0,057 <sup>a</sup>
MCI19	0,173 <sup>a</sup>	0,124 <sup>ab</sup>	0,183 <sup>bc</sup>	0,104 <sup>ab</sup>	0,126 <sup>abc</sup>	0,069 <sup>ab</sup>	0,096 <sup>a</sup>	0,076 <sup>a</sup>	0,144 <sup>β</sup>	0,079 <sup>a</sup>	0,143 <sup>a</sup>	0,076 <sup>a</sup>
MCI72	0,202 <sup>ab</sup>	0,173 <sup>bc</sup>	0,193 <sup>bc</sup>	0,121 <sup>ab</sup>	0,155 <sup>c</sup>	0,087 <sup>b</sup>	0,160 <sup>b</sup>	0,081 <sup>a</sup>	0,151 <sup>a</sup>	0,095 <sup>a</sup>	0,152 <sup>a</sup>	0,089 <sup>a</sup>
MCI80	0,189 <sup>ab</sup>	0,112 <sup>a</sup>	0,125 <sup>a</sup>	0,058 <sup>a</sup>	0,095 <sup>a</sup>	0,036 <sup>a</sup>	0,084 <sup>a</sup>	0,056 <sup>a</sup>	0,092 <sup>a</sup>	0,079 <sup>a</sup>	0,098 <sup>a</sup>	0,063 <sup>a</sup>
MS49	0,201 <sup>ab</sup>	0,105 <sup>a</sup>	0,113 <sup>a</sup>	0,058 <sup>a</sup>	0,106 <sup>ab</sup>	0,041 <sup>a</sup>	0,129 <sup>ab</sup>	0,044 <sup>a</sup>	0,145 <sup>a</sup>	0,056 <sup>a</sup>	0,116 <sup>a</sup>	0,073 <sup>a</sup>
MS104	0,220 <sup>ab</sup>	0,207 <sup>c</sup>	0,148 <sup>ab</sup>	0,092 <sup>ab</sup>	0,103 <sup>a</sup>	0,061 <sup>ab</sup>	0,116 <sup>ab</sup>	0,060 <sup>a</sup>	0,127 <sup>a</sup>	0,092 <sup>a</sup>	0,129 <sup>a</sup>	0,086 <sup>a</sup>
<b>Riego</b>	<b>0,202<sup>α</sup></b>	<b>0,156<sup>α</sup></b>	<b>0,161<sup>β</sup></b>	<b>0,097<sup>α</sup></b>	<b>0,122<sup>β</sup></b>	<b>0,058<sup>α</sup></b>	<b>0,120<sup>β</sup></b>	<b>0,064<sup>α</sup></b>	<b>0,131<sup>β</sup></b>	<b>0,079<sup>α</sup></b>	<b>0,124<sup>β</sup></b>	<b>0,074<sup>α</sup></b>
MCI16	20,93 <sup>a</sup>	21,90 <sup>b</sup>	19,73 <sup>c</sup>	15,55 <sup>b</sup>	15,53 <sup>bc</sup>	8,62 <sup>ab</sup>	14,45 <sup>bc</sup>	8,60 <sup>ab</sup>	11,55 <sup>a</sup>	7,92 <sup>a</sup>	10,27 <sup>a</sup>	6,37 <sup>a</sup>
MCI19	19,20 <sup>a</sup>	15,38 <sup>a</sup>	18,78 <sup>c</sup>	14,09 <sup>ab</sup>	14,43 <sup>abc</sup>	9,25 <sup>ab</sup>	11,90 <sup>ab</sup>	9,58 <sup>ab</sup>	11,78 <sup>a</sup>	7,99 <sup>a</sup>	11,68 <sup>a</sup>	8,08 <sup>a</sup>
MCI72	20,82 <sup>a</sup>	19,42 <sup>b</sup>	19,65 <sup>c</sup>	15,35 <sup>b</sup>	16,96 <sup>c</sup>	11,45 <sup>b</sup>	16,20 <sup>c</sup>	10,24 <sup>b</sup>	12,76 <sup>a</sup>	9,54 <sup>a</sup>	12,82 <sup>a</sup>	8,88 <sup>a</sup>
MCI80	19,55 <sup>a</sup>	14,40 <sup>a</sup>	15,40 <sup>ab</sup>	8,92 <sup>ab</sup>	12,09 <sup>a</sup>	5,62 <sup>a</sup>	9,96 <sup>a</sup>	7,18 <sup>ab</sup>	9,03 <sup>a</sup>	6,83 <sup>a</sup>	9,35 <sup>a</sup>	6,62 <sup>a</sup>
MS49	19,53 <sup>a</sup>	14,83 <sup>a</sup>	14,88 <sup>a</sup>	8,40 <sup>a</sup>	12,50 <sup>a</sup>	6,84 <sup>a</sup>	13,78 <sup>bc</sup>	6,35 <sup>a</sup>	11,29 <sup>a</sup>	6,42 <sup>a</sup>	10,14 <sup>a</sup>	7,77 <sup>a</sup>
MS104	20,53 <sup>a</sup>	19,40 <sup>b</sup>	17,78 <sup>bc</sup>	13,33 <sup>ab</sup>	13,48 <sup>ab</sup>	9,31 <sup>ab</sup>	12,43 <sup>ab</sup>	7,83 <sup>ab</sup>	10,51 <sup>a</sup>	8,39 <sup>a</sup>	10,01 <sup>a</sup>	7,90 <sup>a</sup>
<b>Riego</b>	<b>20,09<sup>α</sup></b>	<b>17,55<sup>α</sup></b>	<b>17,70<sup>β</sup></b>	<b>12,61<sup>α</sup></b>	<b>14,16<sup>β</sup></b>	<b>8,51<sup>α</sup></b>	<b>13,12<sup>β</sup></b>	<b>8,30<sup>α</sup></b>	<b>11,15<sup>β</sup></b>	<b>7,85<sup>α</sup></b>	<b>10,71<sup>β</sup></b>	<b>7,60<sup>α</sup></b>
MCI16	92 <sup>a</sup>	103 <sup>ab</sup>	100 <sup>a</sup>	139 <sup>a</sup>	106 <sup>a</sup>	157 <sup>ab</sup>	110 <sup>ab</sup>	138 <sup>a</sup>	92 <sup>a</sup>	108 <sup>ab</sup>	99 <sup>a</sup>	116 <sup>a</sup>
MCI19	113 <sup>b</sup>	128 <sup>bc</sup>	104 <sup>ab</sup>	142 <sup>a</sup>	120 <sup>a</sup>	141 <sup>a</sup>	126 <sup>ab</sup>	130 <sup>a</sup>	86 <sup>a</sup>	104 <sup>ab</sup>	82 <sup>a</sup>	107 <sup>a</sup>
MCI72	104 <sup>ab</sup>	113 <sup>ab</sup>	104 <sup>ab</sup>	138 <sup>a</sup>	111 <sup>a</sup>	139 <sup>a</sup>	103 <sup>a</sup>	131 <sup>a</sup>	88 <sup>a</sup>	108 <sup>ab</sup>	85 <sup>a</sup>	105 <sup>a</sup>
MCI80	107 <sup>ab</sup>	139 <sup>c</sup>	128 <sup>c</sup>	166 <sup>c</sup>	132 <sup>a</sup>	156 <sup>ab</sup>	129 <sup>b</sup>	134 <sup>a</sup>	101 <sup>a</sup>	97 <sup>ab</sup>	99 <sup>a</sup>	107 <sup>a</sup>
MS49	99 <sup>ab</sup>	142 <sup>c</sup>	132 <sup>c</sup>	168 <sup>a</sup>	125 <sup>a</sup>	170 <sup>b</sup>	108 <sup>ab</sup>	150 <sup>a</sup>	86 <sup>a</sup>	119 <sup>b</sup>	92 <sup>a</sup>	110 <sup>a</sup>
MS104	95 <sup>ab</sup>	95 <sup>a</sup>	121 <sup>bc</sup>	147 <sup>a</sup>	132 <sup>a</sup>	154 <sup>ab</sup>	113 <sup>ab</sup>	132 <sup>a</sup>	90 <sup>a</sup>	91 <sup>a</sup>	85 <sup>a</sup>	96 <sup>a</sup>
<b>Riego</b>	<b>101<sup>α</sup></b>	<b>120<sup>α</sup></b>	<b>115<sup>α</sup></b>	<b>150<sup>β</sup></b>	<b>121<sup>α</sup></b>	<b>153<sup>β</sup></b>	<b>115<sup>α</sup></b>	<b>136<sup>β</sup></b>	<b>90<sup>α</sup></b>	<b>104<sup>β</sup></b>	<b>90<sup>α</sup></b>	<b>107<sup>β</sup></b>
<b>An</b> (μmol CO <sub>2</sub> m <sup>-2</sup> s <sup>-1</sup> )												
<b>An/gs</b>												

RDC, riego deficitario controlado; Ψs, potencial hídrico; gs, conductancia estomática; An, tasa fotosintética; An/gs, eficiencia intrínseca del uso del agua. Separación de medias realizadas con el test de rangos múltiples de Duncan. Para cada periodo fenológico y genotipo, diferentes letras en la misma columna (a-d) indican diferencias significativas entre genotipos ( $p < 0,05$ ). Para cada parámetro fisiológico, diferentes letras en la misma fila ( $\alpha, \beta$ ) indican diferencias significativas entre tratamientos de riego ( $p < 0,05$ ).

Continuación Anexo 6. Medidas quincenales de potencial hídrico y parámetros del intercambio gaseoso en 2020.

Genotipo	Vendimia						Poscosecha					
	27/08/2020			09/09/2020			22/09/2020			05/10/2020		
	RDC	Secano	RDC	Secano	RDC	Secano	RDC	Secano	RDC	Secano	RDC	Secano
MC16	-1,13 <sup>a</sup>	-1,22 <sup>a</sup>	-1,09 <sup>a</sup>	-1,33 <sup>a</sup>	-1,06 <sup>a</sup>	-1,30 <sup>a</sup>	-1,06 <sup>ab</sup>	-1,30 <sup>a</sup>	-1,01 <sup>ab</sup>	-1,30 <sup>a</sup>	-1,01 <sup>ab</sup>	-1,16 <sup>ab</sup>
MC19	-1,07 <sup>ab</sup>	-1,19 <sup>a</sup>	-1,06 <sup>a</sup>	-1,30 <sup>a</sup>	-1,06 <sup>a</sup>	-1,26 <sup>a</sup>	-1,12 <sup>ab</sup>	-1,26 <sup>a</sup>	-1,04 <sup>ab</sup>	-1,26 <sup>a</sup>	-1,04 <sup>ab</sup>	-1,21 <sup>ab</sup>
MC72	-1,07 <sup>ab</sup>	-1,22 <sup>a</sup>	-1,08 <sup>a</sup>	-1,32 <sup>a</sup>	-1,08 <sup>a</sup>	-1,29 <sup>a</sup>	-1,09 <sup>ab</sup>	-1,29 <sup>a</sup>	-1,03 <sup>ab</sup>	-1,29 <sup>a</sup>	-1,03 <sup>ab</sup>	-1,29 <sup>a</sup>
MC80	-1,18 <sup>a</sup>	-1,20 <sup>a</sup>	-1,11 <sup>a</sup>	-1,34 <sup>a</sup>	-1,11 <sup>a</sup>	-1,27 <sup>a</sup>	-1,15 <sup>a</sup>	-1,27 <sup>a</sup>	-1,08 <sup>a</sup>	-1,27 <sup>a</sup>	-1,08 <sup>a</sup>	-1,21 <sup>ab</sup>
MS49	-1,07 <sup>ab</sup>	-1,18 <sup>a</sup>	-1,06 <sup>a</sup>	-1,28 <sup>a</sup>	-1,06 <sup>a</sup>	-1,34 <sup>a</sup>	-1,01 <sup>ab</sup>	-1,34 <sup>a</sup>	-0,96 <sup>ab</sup>	-1,34 <sup>a</sup>	-0,96 <sup>ab</sup>	-1,26 <sup>a</sup>
MS104	-0,95 <sup>b</sup>	-1,24 <sup>a</sup>	-1,01 <sup>a</sup>	-1,28 <sup>a</sup>	-1,01 <sup>a</sup>	-1,28 <sup>a</sup>	-0,95 <sup>b</sup>	-1,28 <sup>a</sup>	-0,89 <sup>b</sup>	-1,28 <sup>a</sup>	-0,89 <sup>b</sup>	-1,06 <sup>b</sup>
<b>Riego</b>	<b>-1,08<sup>β</sup></b>	<b>-1,21<sup>α</sup></b>	<b>-1,07<sup>β</sup></b>	<b>-1,31<sup>α</sup></b>	<b>-1,06<sup>β</sup></b>	<b>-1,28<sup>α</sup></b>	<b>-1,06<sup>β</sup></b>	<b>-1,28<sup>α</sup></b>	<b>-1,00<sup>β</sup></b>	<b>-1,28<sup>α</sup></b>	<b>-1,00<sup>β</sup></b>	<b>-1,20<sup>α</sup></b>
MC16	0,140 <sup>ab</sup>	0,066 <sup>a</sup>	0,090 <sup>ab</sup>	0,051 <sup>a</sup>	0,097 <sup>a</sup>	0,068 <sup>a</sup>	0,051 <sup>a</sup>	0,097 <sup>a</sup>	0,070 <sup>a</sup>	0,068 <sup>a</sup>	0,070 <sup>a</sup>	0,056 <sup>a</sup>
MC19	0,124 <sup>ab</sup>	0,065 <sup>a</sup>	0,112 <sup>abc</sup>	0,075 <sup>ab</sup>	0,115 <sup>a</sup>	0,093 <sup>a</sup>	0,115 <sup>a</sup>	0,093 <sup>a</sup>	0,073 <sup>a</sup>	0,093 <sup>a</sup>	0,073 <sup>a</sup>	0,058 <sup>a</sup>
MC72	0,154 <sup>b</sup>	0,082 <sup>a</sup>	0,135 <sup>bc</sup>	0,093 <sup>b</sup>	0,130 <sup>a</sup>	0,081 <sup>a</sup>	0,130 <sup>a</sup>	0,081 <sup>a</sup>	0,100 <sup>ab</sup>	0,081 <sup>a</sup>	0,100 <sup>ab</sup>	0,063 <sup>a</sup>
MC80	0,107 <sup>a</sup>	0,088 <sup>a</sup>	0,077 <sup>a</sup>	0,059 <sup>ab</sup>	0,102 <sup>a</sup>	0,086 <sup>a</sup>	0,059 <sup>ab</sup>	0,102 <sup>a</sup>	0,084 <sup>a</sup>	0,086 <sup>a</sup>	0,084 <sup>a</sup>	0,060 <sup>a</sup>
MS49	0,140 <sup>ab</sup>	0,083 <sup>a</sup>	0,156 <sup>c</sup>	0,071 <sup>ab</sup>	0,140 <sup>a</sup>	0,073 <sup>a</sup>	0,071 <sup>ab</sup>	0,140 <sup>a</sup>	0,091 <sup>ab</sup>	0,073 <sup>a</sup>	0,091 <sup>ab</sup>	0,048 <sup>a</sup>
MS104	0,147 <sup>ab</sup>	0,084 <sup>a</sup>	0,116 <sup>abc</sup>	0,075 <sup>ab</sup>	0,148 <sup>a</sup>	0,106 <sup>a</sup>	0,075 <sup>ab</sup>	0,148 <sup>a</sup>	0,122 <sup>b</sup>	0,106 <sup>a</sup>	0,122 <sup>b</sup>	0,100 <sup>b</sup>
<b>Riego</b>	<b>0,135<sup>β</sup></b>	<b>0,078<sup>α</sup></b>	<b>0,114<sup>β</sup></b>	<b>0,071<sup>α</sup></b>	<b>0,122<sup>β</sup></b>	<b>0,084<sup>α</sup></b>	<b>0,122<sup>β</sup></b>	<b>0,084<sup>α</sup></b>	<b>0,090<sup>β</sup></b>	<b>0,084<sup>α</sup></b>	<b>0,090<sup>β</sup></b>	<b>0,064<sup>α</sup></b>
MC16	12,45 <sup>a</sup>	7,85 <sup>a</sup>	9,45 <sup>ab</sup>	6,22 <sup>a</sup>	9,69 <sup>a</sup>	7,19 <sup>a</sup>	6,22 <sup>a</sup>	9,69 <sup>a</sup>	7,67 <sup>a</sup>	7,19 <sup>a</sup>	7,67 <sup>a</sup>	6,58 <sup>a</sup>
MC19	12,08 <sup>a</sup>	7,36 <sup>a</sup>	11,13 <sup>bcd</sup>	7,50 <sup>a</sup>	10,76 <sup>a</sup>	9,15 <sup>a</sup>	7,50 <sup>a</sup>	10,76 <sup>a</sup>	8,34 <sup>ab</sup>	9,15 <sup>a</sup>	8,34 <sup>ab</sup>	6,75 <sup>a</sup>
MC72	12,44 <sup>a</sup>	9,02 <sup>a</sup>	12,20 <sup>cd</sup>	9,33 <sup>a</sup>	11,25 <sup>a</sup>	7,97 <sup>a</sup>	9,33 <sup>a</sup>	11,25 <sup>a</sup>	9,56 <sup>b</sup>	7,97 <sup>a</sup>	9,56 <sup>b</sup>	7,16 <sup>ab</sup>
MC80	10,52 <sup>a</sup>	8,49 <sup>a</sup>	8,20 <sup>a</sup>	6,90 <sup>a</sup>	10,33 <sup>a</sup>	8,52 <sup>a</sup>	6,90 <sup>a</sup>	10,33 <sup>a</sup>	8,69 <sup>ab</sup>	8,52 <sup>a</sup>	8,69 <sup>ab</sup>	6,43 <sup>a</sup>
MS49	11,50 <sup>a</sup>	9,02 <sup>a</sup>	12,85 <sup>d</sup>	7,39 <sup>a</sup>	10,45 <sup>a</sup>	7,72 <sup>a</sup>	7,39 <sup>a</sup>	10,45 <sup>a</sup>	8,52 <sup>ab</sup>	7,72 <sup>a</sup>	8,52 <sup>ab</sup>	6,10 <sup>a</sup>
MS104	12,30 <sup>a</sup>	8,70 <sup>a</sup>	10,05 <sup>abc</sup>	7,46 <sup>a</sup>	11,35 <sup>a</sup>	8,84 <sup>a</sup>	7,46 <sup>a</sup>	11,35 <sup>a</sup>	9,45 <sup>ab</sup>	8,84 <sup>a</sup>	9,45 <sup>ab</sup>	8,65 <sup>b</sup>
<b>Riego</b>	<b>11,88<sup>β</sup></b>	<b>8,41<sup>α</sup></b>	<b>10,65<sup>β</sup></b>	<b>7,47<sup>α</sup></b>	<b>10,64<sup>β</sup></b>	<b>8,23<sup>α</sup></b>	<b>7,47<sup>α</sup></b>	<b>10,64<sup>β</sup></b>	<b>8,70<sup>β</sup></b>	<b>8,23<sup>α</sup></b>	<b>8,70<sup>β</sup></b>	<b>6,94<sup>α</sup></b>
MC16	90 <sup>abc</sup>	119 <sup>a</sup>	105 <sup>b</sup>	122 <sup>c</sup>	102 <sup>b</sup>	112 <sup>b</sup>	105 <sup>b</sup>	102 <sup>b</sup>	112 <sup>b</sup>	112 <sup>b</sup>	112 <sup>b</sup>	118 <sup>bc</sup>
MC19	99 <sup>bc</sup>	119 <sup>a</sup>	100 <sup>ab</sup>	102 <sup>a</sup>	95 <sup>ab</sup>	103 <sup>a</sup>	100 <sup>ab</sup>	95 <sup>ab</sup>	116 <sup>b</sup>	103 <sup>a</sup>	116 <sup>b</sup>	117 <sup>bc</sup>
MC72	81 <sup>a</sup>	112 <sup>a</sup>	92 <sup>ab</sup>	103 <sup>a</sup>	89 <sup>ab</sup>	100 <sup>a</sup>	92 <sup>ab</sup>	89 <sup>ab</sup>	96 <sup>ab</sup>	100 <sup>a</sup>	96 <sup>ab</sup>	115 <sup>bc</sup>
MC80	101 <sup>c</sup>	107 <sup>a</sup>	108 <sup>b</sup>	117 <sup>bc</sup>	102 <sup>b</sup>	104 <sup>a</sup>	108 <sup>b</sup>	102 <sup>b</sup>	105 <sup>b</sup>	104 <sup>a</sup>	105 <sup>b</sup>	108 <sup>b</sup>
MS49	83 <sup>a</sup>	110 <sup>a</sup>	85 <sup>a</sup>	105 <sup>ab</sup>	93 <sup>ab</sup>	108 <sup>a</sup>	85 <sup>a</sup>	93 <sup>ab</sup>	95 <sup>ab</sup>	108 <sup>a</sup>	95 <sup>ab</sup>	132 <sup>c</sup>
MS104	85 <sup>ab</sup>	104 <sup>a</sup>	92 <sup>ab</sup>	101 <sup>a</sup>	78 <sup>a</sup>	90 <sup>a</sup>	92 <sup>ab</sup>	78 <sup>a</sup>	81 <sup>a</sup>	90 <sup>a</sup>	81 <sup>a</sup>	88 <sup>a</sup>
<b>Riego</b>	<b>90<sup>α</sup></b>	<b>112<sup>β</sup></b>	<b>97<sup>α</sup></b>	<b>108<sup>α</sup></b>	<b>93<sup>α</sup></b>	<b>103<sup>α</sup></b>	<b>97<sup>α</sup></b>	<b>108<sup>α</sup></b>	<b>101<sup>α</sup></b>	<b>103<sup>α</sup></b>	<b>101<sup>α</sup></b>	<b>113<sup>α</sup></b>

RDC, riego deficitario controlado;  $\Psi_s$ , potencial hídrico; gs, conductancia estomática;  $A_n$ , tasa fotosintética;  $A_n/g_s$ , eficiencia intrínseca del uso del agua. Separación de medias realizadas con el test de rangos múltiples de Duncan. Para cada periodo fenológico y genotipo, diferentes letras en la misma columna (a-d) indican diferencias significativas entre genotipos ( $p < 0,05$ ). Para cada parámetro fisiológico, diferentes letras en la misma fila ( $\alpha, \beta$ ) indican diferencias significativas entre tratamientos de riego ( $p < 0,05$ ).

Anexo 7. Medidas quincenales de potencial hídrico y parámetros del intercambio gaseoso en 2021.

Genotipo	Floración-cuajado												Enero			
	25/05/2021		08/06/2021		23/06/2021		08/07/2021		20/07/2021		10/08/2021		16/08/2021		24/08/2021	
	RDC	Secano	RDC	Secano	RDC	Secano	RDC	Secano	RDC	Secano	RDC	Secano	RDC	Secano	RDC	Secano
$\Psi_s$ (MPa)	MC16	-0,60 <sup>a</sup>	-0,65 <sup>a</sup>	-0,69 <sup>a</sup>	-0,79 <sup>a</sup>	-0,91 <sup>a</sup>	-1,16 <sup>a</sup>	-1,02 <sup>a</sup>	-1,32 <sup>a</sup>	-1,49 <sup>a</sup>	-1,17 <sup>a</sup>	-1,37 <sup>a</sup>	-1,58 <sup>a</sup>	-1,22 <sup>a</sup>	-1,58 <sup>a</sup>	-1,48 <sup>a</sup>
	MC19	-0,64 <sup>a</sup>	-0,67 <sup>a</sup>	-0,68 <sup>bc</sup>	-0,82 <sup>a</sup>	-0,91 <sup>a</sup>	-1,12 <sup>a</sup>	-1,05 <sup>a</sup>	-1,20 <sup>a</sup>	-1,46 <sup>a</sup>	-1,24 <sup>a</sup>	-1,40 <sup>a</sup>	-1,51 <sup>ab</sup>	-1,29 <sup>a</sup>	-1,48 <sup>a</sup>	-1,45 <sup>a</sup>
	MC72	-0,60 <sup>a</sup>	-0,77 <sup>a</sup>	-0,83 <sup>a</sup>	-0,81 <sup>a</sup>	-0,94 <sup>a</sup>	-1,10 <sup>a</sup>	-1,05 <sup>a</sup>	-1,25 <sup>a</sup>	-1,44 <sup>a</sup>	-1,21 <sup>a</sup>	-1,31 <sup>a</sup>	-1,47 <sup>ab</sup>	-1,25 <sup>a</sup>	-1,45 <sup>a</sup>	-1,45 <sup>a</sup>
	MC80	-0,66 <sup>a</sup>	-0,66 <sup>a</sup>	-0,77 <sup>ab</sup>	-0,83 <sup>a</sup>	-1,01 <sup>a</sup>	-1,03 <sup>a</sup>	-1,01 <sup>a</sup>	-1,25 <sup>a</sup>	-1,40 <sup>a</sup>	-1,26 <sup>a</sup>	-1,40 <sup>a</sup>	-1,43 <sup>b</sup>	-1,36 <sup>a</sup>	-1,55 <sup>a</sup>	-1,55 <sup>a</sup>
	MS49	-0,58 <sup>a</sup>	-0,72 <sup>a</sup>	-0,68 <sup>bc</sup>	-0,80 <sup>a</sup>	-0,86 <sup>a</sup>	-1,08 <sup>a</sup>	-1,01 <sup>a</sup>	-1,25 <sup>a</sup>	-1,54 <sup>a</sup>	-1,20 <sup>a</sup>	-1,33 <sup>a</sup>	-1,51 <sup>ab</sup>	-1,30 <sup>a</sup>	-1,58 <sup>a</sup>	-1,58 <sup>a</sup>
	MS104	-0,59 <sup>a</sup>	-0,66 <sup>a</sup>	-0,62 <sup>c</sup>	-0,78 <sup>a</sup>	-0,90 <sup>a</sup>	-1,16 <sup>a</sup>	-1,00 <sup>a</sup>	-1,22 <sup>a</sup>	-1,38 <sup>a</sup>	-1,18 <sup>a</sup>	-1,26 <sup>a</sup>	-1,46 <sup>ab</sup>	-1,13 <sup>a</sup>	-1,37 <sup>a</sup>	-1,37 <sup>a</sup>
<b>Riego</b>		<b>-0,61<sup>a</sup></b>	<b>-0,69<sup>a</sup></b>	<b>-0,70<sup>a</sup></b>	<b>-0,82<sup>a</sup></b>	<b>-0,92<sup>a</sup></b>	<b>-1,11<sup>a</sup></b>	<b>-1,02<sup>a</sup></b>	<b>-1,24<sup>a</sup></b>	<b>-1,45<sup>a</sup></b>	<b>-1,21<sup>a</sup></b>	<b>-1,35<sup>a</sup></b>	<b>-1,49<sup>a</sup></b>	<b>-1,26<sup>a</sup></b>	<b>-1,50<sup>a</sup></b>	<b>-1,50<sup>a</sup></b>
$\Psi_s$ (MPa)	MC16	0,259 <sup>bc</sup>	0,267 <sup>c</sup>	0,216 <sup>ab</sup>	0,198 <sup>a</sup>	0,149 <sup>ab</sup>	0,149 <sup>a</sup>	0,147 <sup>b</sup>	0,111 <sup>a</sup>	0,096 <sup>a</sup>	0,096 <sup>a</sup>	0,086 <sup>a</sup>	0,038 <sup>a</sup>	0,095 <sup>a</sup>	0,058 <sup>a</sup>	0,058 <sup>a</sup>
	MC19	0,199 <sup>ab</sup>	0,170 <sup>a</sup>	0,224 <sup>a</sup>	0,226 <sup>ab</sup>	0,221 <sup>a</sup>	0,201 <sup>a</sup>	0,190 <sup>b</sup>	0,120 <sup>a</sup>	0,146 <sup>b</sup>	0,103 <sup>a</sup>	0,113 <sup>a</sup>	0,053 <sup>ab</sup>	0,081 <sup>a</sup>	0,066 <sup>a</sup>	0,066 <sup>a</sup>
	MC72	0,227 <sup>ab</sup>	0,244 <sup>bc</sup>	0,282 <sup>ab</sup>	0,257 <sup>b</sup>	0,251 <sup>a</sup>	0,225 <sup>a</sup>	0,176 <sup>ab</sup>	0,150 <sup>a</sup>	0,190 <sup>b</sup>	0,118 <sup>a</sup>	0,122 <sup>a</sup>	0,093 <sup>a</sup>	0,071 <sup>b</sup>	0,094 <sup>a</sup>	0,067 <sup>a</sup>
	MC80	0,175 <sup>a</sup>	0,196 <sup>ab</sup>	0,225 <sup>a</sup>	0,220 <sup>ab</sup>	0,212 <sup>a</sup>	0,190 <sup>a</sup>	0,133 <sup>a</sup>	0,111 <sup>a</sup>	0,096 <sup>a</sup>	0,096 <sup>a</sup>	0,089 <sup>a</sup>	0,047 <sup>ab</sup>	0,090 <sup>a</sup>	0,063 <sup>a</sup>	0,063 <sup>a</sup>
	MS49	0,227 <sup>ab</sup>	0,191 <sup>ab</sup>	0,194 <sup>a</sup>	0,110 <sup>a</sup>	0,253 <sup>a</sup>	0,225 <sup>a</sup>	0,162 <sup>ab</sup>	0,113 <sup>a</sup>	0,172 <sup>b</sup>	0,100 <sup>a</sup>	0,088 <sup>a</sup>	0,055 <sup>a</sup>	0,103 <sup>a</sup>	0,096 <sup>a</sup>	0,067 <sup>a</sup>
	MS104	0,313 <sup>c</sup>	0,300 <sup>c</sup>	0,373 <sup>b</sup>	0,272 <sup>b</sup>	0,267 <sup>a</sup>	0,240 <sup>a</sup>	0,201 <sup>b</sup>	0,130 <sup>a</sup>	0,174 <sup>b</sup>	0,105 <sup>a</sup>	0,122 <sup>a</sup>	0,116 <sup>c</sup>	0,097 <sup>a</sup>	0,115 <sup>a</sup>	0,043 <sup>a</sup>
<b>Riego</b>		<b>0,233<sup>a</sup></b>	<b>0,224<sup>a</sup></b>	<b>0,260<sup>a</sup></b>	<b>0,219<sup>a</sup></b>	<b>0,233<sup>a</sup></b>	<b>0,213<sup>a</sup></b>	<b>0,169<sup>a</sup></b>	<b>0,106<sup>a</sup></b>	<b>0,108<sup>a</sup></b>	<b>0,085<sup>a</sup></b>	<b>0,097<sup>a</sup></b>	<b>0,049<sup>a</sup></b>	<b>0,095<sup>a</sup></b>	<b>0,061<sup>a</sup></b>	<b>0,061<sup>a</sup></b>
$A_n$ ( $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ )	MC16	20,80 <sup>b</sup>	20,90 <sup>b</sup>	19,58 <sup>a</sup>	14,93 <sup>ab</sup>	16,90 <sup>a</sup>	17,50 <sup>a</sup>	16,05 <sup>ab</sup>	15,73 <sup>a</sup>	15,15 <sup>bc</sup>	12,86 <sup>a</sup>	11,29 <sup>a</sup>	9,94 <sup>b</sup>	11,85 <sup>a</sup>	12,83 <sup>a</sup>	8,92 <sup>a</sup>
	MC19	18,08 <sup>ab</sup>	16,68 <sup>a</sup>	17,85 <sup>a</sup>	18,33 <sup>b</sup>	17,98 <sup>a</sup>	17,12 <sup>a</sup>	17,35 <sup>b</sup>	12,02 <sup>a</sup>	14,15 <sup>b</sup>	12,25 <sup>a</sup>	9,84 <sup>a</sup>	9,16 <sup>ab</sup>	13,93 <sup>a</sup>	11,24 <sup>a</sup>	9,22 <sup>a</sup>
	MC72	18,86 <sup>ab</sup>	20,16 <sup>ab</sup>	17,18 <sup>a</sup>	19,14 <sup>b</sup>	19,34 <sup>a</sup>	18,36 <sup>a</sup>	17,28 <sup>b</sup>	15,68 <sup>a</sup>	17,84 <sup>c</sup>	13,05 <sup>a</sup>	12,32 <sup>a</sup>	9,63 <sup>ab</sup>	13,54 <sup>a</sup>	12,08 <sup>a</sup>	10,24 <sup>a</sup>
	MC80	16,40 <sup>a</sup>	18,20 <sup>ab</sup>	17,68 <sup>a</sup>	17,98 <sup>b</sup>	16,73 <sup>a</sup>	16,63 <sup>a</sup>	14,23 <sup>a</sup>	11,18 <sup>a</sup>	11,23 <sup>a</sup>	10,73 <sup>a</sup>	10,95 <sup>a</sup>	9,49 <sup>ab</sup>	12,30 <sup>a</sup>	11,37 <sup>a</sup>	8,53 <sup>a</sup>
	MS49	19,43 <sup>ab</sup>	17,93 <sup>ab</sup>	16,20 <sup>a</sup>	11,80 <sup>a</sup>	17,50 <sup>a</sup>	17,35 <sup>a</sup>	15,88 <sup>ab</sup>	12,68 <sup>a</sup>	15,25 <sup>bc</sup>	11,77 <sup>a</sup>	9,17 <sup>a</sup>	6,96 <sup>a</sup>	13,28 <sup>a</sup>	12,65 <sup>a</sup>	9,55 <sup>a</sup>
	MS104	21,98 <sup>b</sup>	21,70 <sup>b</sup>	20,68 <sup>a</sup>	19,53 <sup>b</sup>	18,63 <sup>a</sup>	17,90 <sup>a</sup>	16,80 <sup>ab</sup>	14,28 <sup>a</sup>	15,68 <sup>bc</sup>	11,40 <sup>a</sup>	10,47 <sup>a</sup>	10,60 <sup>b</sup>	12,38 <sup>a</sup>	12,41 <sup>a</sup>	6,95 <sup>a</sup>
<b>Riego</b>		<b>19,24<sup>a</sup></b>	<b>19,10<sup>a</sup></b>	<b>18,15<sup>a</sup></b>	<b>17,13<sup>a</sup></b>	<b>17,90<sup>a</sup></b>	<b>17,48<sup>a</sup></b>	<b>16,30<sup>a</sup></b>	<b>13,47<sup>a</sup></b>	<b>15,00<sup>a</sup></b>	<b>12,06<sup>a</sup></b>	<b>10,74<sup>a</sup></b>	<b>9,30<sup>a</sup></b>	<b>12,90<sup>a</sup></b>	<b>12,10<sup>a</sup></b>	<b>8,97<sup>a</sup></b>
$A_n/g_s$ ( $\mu\text{mol H}_2\text{O}^{-1}$ )	MC16	81 <sup>ab</sup>	79 <sup>a</sup>	76 <sup>ab</sup>	79 <sup>a</sup>	92 <sup>b</sup>	90 <sup>a</sup>	110 <sup>b</sup>	108 <sup>a</sup>	104 <sup>ab</sup>	125 <sup>a</sup>	118 <sup>b</sup>	108 <sup>ab</sup>	139 <sup>a</sup>	184 <sup>ab</sup>	155 <sup>bc</sup>
	MC19	92 <sup>b</sup>	99 <sup>b</sup>	83 <sup>ab</sup>	82 <sup>ab</sup>	83 <sup>ab</sup>	88 <sup>a</sup>	94 <sup>ab</sup>	107 <sup>a</sup>	98 <sup>a</sup>	122 <sup>a</sup>	101 <sup>ab</sup>	126 <sup>b</sup>	129 <sup>a</sup>	162 <sup>ab</sup>	140 <sup>ab</sup>
	MC72	85 <sup>b</sup>	85 <sup>ab</sup>	66 <sup>ab</sup>	82 <sup>ab</sup>	78 <sup>ab</sup>	85 <sup>a</sup>	98 <sup>ab</sup>	110 <sup>a</sup>	94 <sup>a</sup>	119 <sup>a</sup>	104 <sup>ab</sup>	108 <sup>ab</sup>	146 <sup>a</sup>	142 <sup>a</sup>	154 <sup>bc</sup>
	MC80	94 <sup>b</sup>	96 <sup>b</sup>	80 <sup>ab</sup>	86 <sup>ab</sup>	81 <sup>ab</sup>	89 <sup>a</sup>	111 <sup>b</sup>	108 <sup>a</sup>	122 <sup>b</sup>	118 <sup>a</sup>	103 <sup>ab</sup>	119 <sup>b</sup>	141 <sup>a</sup>	154 <sup>ab</sup>	130 <sup>a</sup>
	MS49	86 <sup>b</sup>	95 <sup>b</sup>	90 <sup>b</sup>	112 <sup>b</sup>	71 <sup>a</sup>	79 <sup>a</sup>	100 <sup>ab</sup>	113 <sup>a</sup>	89 <sup>a</sup>	121 <sup>a</sup>	104 <sup>ab</sup>	128 <sup>b</sup>	134 <sup>a</sup>	189 <sup>b</sup>	143 <sup>abc</sup>
	MS104	72 <sup>a</sup>	73 <sup>a</sup>	56 <sup>a</sup>	79 <sup>a</sup>	71 <sup>a</sup>	75 <sup>a</sup>	86 <sup>a</sup>	112 <sup>a</sup>	95 <sup>a</sup>	109 <sup>a</sup>	90 <sup>a</sup>	91 <sup>a</sup>	131 <sup>a</sup>	157 <sup>ab</sup>	164 <sup>c</sup>
<b>Riego</b>		<b>85<sup>a</sup></b>	<b>89<sup>a</sup></b>	<b>75<sup>a</sup></b>	<b>86<sup>a</sup></b>	<b>79<sup>a</sup></b>	<b>84<sup>a</sup></b>	<b>100<sup>a</sup></b>	<b>109<sup>a</sup></b>	<b>100<sup>a</sup></b>	<b>119<sup>a</sup></b>	<b>103<sup>a</sup></b>	<b>114<sup>a</sup></b>	<b>137<sup>a</sup></b>	<b>164<sup>a</sup></b>	<b>147<sup>a</sup></b>

RDC, riego deficitario controlado;  $\Psi_s$ , potencial hídrico;  $g_s$ , conductancia estomática;  $A_n$ , tasa fotosintética;  $A_n/g_s$ , eficiencia intrínseca del uso del agua. Separación de medias realizadas con el test de rangos múltiples de Duncan. Para cada periodo fenológico y genotipo, diferentes letras en la misma columna (a-c) indican diferencias significativas entre genotipos ( $p < 0,05$ ). Para cada parámetro fisiológico, diferentes letras en la misma fila ( $\alpha, \beta$ ) indican diferencias significativas entre tratamientos de riego ( $p < 0,05$ ).

Continuación Anexo 7. Medidas quincenales de potencial hídrico y parámetros del intercambio gaseoso en 2021.

Genotipo	Vendimia						Postcosecha					
	10/09/2021		27/09/2021		13/10/2021		13/10/2021		19/10/2021		19/10/2021	
	RDC	Secano	RDC	Secano	RDC	Secano	RDC	Secano	RDC	Secano	RDC	Secano
MC16	-1,33 <sup>ab</sup>	-1,58 <sup>a</sup>	-1,20 <sup>ab</sup>	-1,50 <sup>a</sup>	-1,11 <sup>ab</sup>	-1,31 <sup>a</sup>	-1,09 <sup>ab</sup>	-1,16 <sup>a</sup>	-1,31 <sup>a</sup>	-1,09 <sup>ab</sup>	-1,16 <sup>a</sup>	-1,11 <sup>a</sup>
MC19	-1,31 <sup>ab</sup>	-1,48 <sup>a</sup>	-1,24 <sup>a</sup>	-1,32 <sup>ab</sup>	-1,08 <sup>ab</sup>	-1,28 <sup>a</sup>	-1,03 <sup>a</sup>	-1,11 <sup>a</sup>	-1,28 <sup>a</sup>	-1,03 <sup>a</sup>	-1,11 <sup>a</sup>	-1,11 <sup>a</sup>
MC72	-1,22 <sup>b</sup>	-1,45 <sup>a</sup>	-1,12 <sup>ab</sup>	-1,42 <sup>ab</sup>	-1,06 <sup>ab</sup>	-1,16 <sup>ab</sup>	-0,86 <sup>abc</sup>	-1,09 <sup>a</sup>	-1,16 <sup>ab</sup>	-0,86 <sup>abc</sup>	-1,09 <sup>a</sup>	-1,09 <sup>a</sup>
MC80	-1,36 <sup>a</sup>	-1,55 <sup>a</sup>	-1,32 <sup>a</sup>	-1,40 <sup>ab</sup>	-1,26 <sup>a</sup>	-1,37 <sup>a</sup>	-1,01 <sup>a</sup>	-1,16 <sup>a</sup>	-1,37 <sup>a</sup>	-1,01 <sup>a</sup>	-1,16 <sup>a</sup>	-1,16 <sup>a</sup>
MS49	-1,34 <sup>ab</sup>	-1,58 <sup>a</sup>	-1,24 <sup>a</sup>	-1,48 <sup>a</sup>	-1,03 <sup>ab</sup>	-1,33 <sup>a</sup>	-0,75 <sup>bc</sup>	-1,07 <sup>a</sup>	-1,33 <sup>a</sup>	-0,75 <sup>bc</sup>	-1,07 <sup>a</sup>	-1,07 <sup>a</sup>
MS104	-1,27 <sup>ab</sup>	-1,37 <sup>a</sup>	-1,01 <sup>b</sup>	-1,19 <sup>b</sup>	-0,89 <sup>b</sup>	-1,00 <sup>b</sup>	-0,67 <sup>c</sup>	-0,82 <sup>b</sup>	-1,00 <sup>b</sup>	-0,67 <sup>c</sup>	-0,82 <sup>b</sup>	-0,82 <sup>b</sup>
<b>Riego</b>	<b>-1,30<sup>β</sup></b>	<b>-1,51<sup>α</sup></b>	<b>-1,19<sup>β</sup></b>	<b>-1,38<sup>α</sup></b>	<b>-1,07<sup>β</sup></b>	<b>-1,25<sup>α</sup></b>	<b>-0,87<sup>β</sup></b>	<b>-1,07<sup>α</sup></b>	<b>-1,25<sup>α</sup></b>	<b>-0,87<sup>β</sup></b>	<b>-1,07<sup>α</sup></b>	<b>-1,07<sup>α</sup></b>
MC16	0,072 <sup>ab</sup>	0,042 <sup>a</sup>	0,084 <sup>ab</sup>	0,045 <sup>a</sup>	0,091 <sup>a</sup>	0,050 <sup>a</sup>	0,095 <sup>a</sup>	0,068 <sup>a</sup>	0,091 <sup>a</sup>	0,050 <sup>a</sup>	0,095 <sup>a</sup>	0,068 <sup>a</sup>
MC19	0,051 <sup>a</sup>	0,037 <sup>a</sup>	0,064 <sup>a</sup>	0,042 <sup>a</sup>	0,064 <sup>a</sup>	0,057 <sup>a</sup>	0,069 <sup>a</sup>	0,056 <sup>a</sup>	0,064 <sup>a</sup>	0,057 <sup>a</sup>	0,069 <sup>a</sup>	0,056 <sup>a</sup>
MC72	0,098 <sup>b</sup>	0,063 <sup>a</sup>	0,084 <sup>ab</sup>	0,054 <sup>a</sup>	0,069 <sup>a</sup>	0,060 <sup>a</sup>	0,094 <sup>a</sup>	0,065 <sup>a</sup>	0,069 <sup>a</sup>	0,060 <sup>a</sup>	0,094 <sup>a</sup>	0,065 <sup>a</sup>
MC80	0,052 <sup>a</sup>	0,041 <sup>a</sup>	0,067 <sup>a</sup>	0,045 <sup>a</sup>	0,080 <sup>a</sup>	0,063 <sup>ab</sup>	0,079 <sup>a</sup>	0,059 <sup>a</sup>	0,080 <sup>a</sup>	0,063 <sup>ab</sup>	0,079 <sup>a</sup>	0,059 <sup>a</sup>
MS49	0,057 <sup>a</sup>	0,040 <sup>a</sup>	0,069 <sup>a</sup>	0,048 <sup>a</sup>	0,086 <sup>a</sup>	0,069 <sup>ab</sup>	0,104 <sup>a</sup>	0,067 <sup>a</sup>	0,086 <sup>a</sup>	0,069 <sup>ab</sup>	0,104 <sup>a</sup>	0,067 <sup>a</sup>
MS104	0,053 <sup>a</sup>	0,062 <sup>a</sup>	0,112 <sup>b</sup>	0,052 <sup>a</sup>	0,084 <sup>a</sup>	0,098 <sup>b</sup>	0,100 <sup>a</sup>	0,068 <sup>a</sup>	0,084 <sup>a</sup>	0,098 <sup>b</sup>	0,100 <sup>a</sup>	0,068 <sup>a</sup>
<b>Riego</b>	<b>0,065<sup>β</sup></b>	<b>0,047<sup>α</sup></b>	<b>0,080<sup>β</sup></b>	<b>0,048<sup>α</sup></b>	<b>0,078<sup>α</sup></b>	<b>0,065<sup>α</sup></b>	<b>0,090<sup>β</sup></b>	<b>0,063<sup>α</sup></b>	<b>0,078<sup>α</sup></b>	<b>0,065<sup>α</sup></b>	<b>0,090<sup>β</sup></b>	<b>0,063<sup>α</sup></b>
MC16	10,30 <sup>ab</sup>	6,50 <sup>a</sup>	11,71 <sup>a</sup>	6,60 <sup>a</sup>	10,02 <sup>a</sup>	7,06 <sup>a</sup>	8,99 <sup>a</sup>	8,22 <sup>a</sup>	10,02 <sup>a</sup>	7,06 <sup>a</sup>	8,99 <sup>a</sup>	8,22 <sup>a</sup>
MC19	8,15 <sup>ab</sup>	5,91 <sup>a</sup>	9,80 <sup>a</sup>	6,20 <sup>a</sup>	8,67 <sup>a</sup>	7,45 <sup>a</sup>	7,84 <sup>a</sup>	6,90 <sup>a</sup>	8,67 <sup>a</sup>	7,45 <sup>a</sup>	7,84 <sup>a</sup>	6,90 <sup>a</sup>
MC72	11,79 <sup>b</sup>	8,72 <sup>a</sup>	11,40 <sup>a</sup>	6,80 <sup>a</sup>	8,95 <sup>a</sup>	7,73 <sup>a</sup>	9,70 <sup>a</sup>	7,83 <sup>a</sup>	8,95 <sup>a</sup>	7,73 <sup>a</sup>	9,70 <sup>a</sup>	7,83 <sup>a</sup>
MC80	8,09 <sup>ab</sup>	5,17 <sup>a</sup>	9,38 <sup>a</sup>	6,45 <sup>a</sup>	10,59 <sup>a</sup>	7,67 <sup>a</sup>	9,02 <sup>a</sup>	6,83 <sup>a</sup>	10,59 <sup>a</sup>	7,67 <sup>a</sup>	9,02 <sup>a</sup>	6,83 <sup>a</sup>
MS49	8,56 <sup>ab</sup>	6,28 <sup>a</sup>	9,73 <sup>a</sup>	7,50 <sup>a</sup>	9,15 <sup>a</sup>	7,49 <sup>a</sup>	9,39 <sup>a</sup>	7,38 <sup>a</sup>	9,15 <sup>a</sup>	7,49 <sup>a</sup>	9,39 <sup>a</sup>	7,38 <sup>a</sup>
MS104	7,54 <sup>a</sup>	8,16 <sup>a</sup>	12,27 <sup>a</sup>	7,00 <sup>a</sup>	8,94 <sup>a</sup>	8,51 <sup>a</sup>	8,88 <sup>a</sup>	6,83 <sup>a</sup>	8,94 <sup>a</sup>	8,51 <sup>a</sup>	8,88 <sup>a</sup>	6,83 <sup>a</sup>
<b>Riego</b>	<b>9,18<sup>β</sup></b>	<b>6,79<sup>α</sup></b>	<b>10,74<sup>β</sup></b>	<b>6,72<sup>α</sup></b>	<b>9,37<sup>β</sup></b>	<b>7,64<sup>α</sup></b>	<b>9,00<sup>β</sup></b>	<b>7,32<sup>α</sup></b>	<b>9,37<sup>β</sup></b>	<b>7,64<sup>α</sup></b>	<b>9,00<sup>β</sup></b>	<b>7,32<sup>α</sup></b>
MC16	149 <sup>a</sup>	166 <sup>b</sup>	143 <sup>b</sup>	154 <sup>a</sup>	110 <sup>a</sup>	148 <sup>b</sup>	95 <sup>ab</sup>	123 <sup>a</sup>	110 <sup>a</sup>	148 <sup>b</sup>	95 <sup>ab</sup>	123 <sup>a</sup>
MC19	163 <sup>a</sup>	164 <sup>b</sup>	155 <sup>b</sup>	163 <sup>a</sup>	141 <sup>a</sup>	135 <sup>b</sup>	119 <sup>c</sup>	124 <sup>a</sup>	141 <sup>a</sup>	135 <sup>b</sup>	119 <sup>c</sup>	124 <sup>a</sup>
MC72	124 <sup>a</sup>	145 <sup>ab</sup>	137 <sup>ab</sup>	129 <sup>a</sup>	131 <sup>a</sup>	131 <sup>ab</sup>	103 <sup>abc</sup>	121 <sup>a</sup>	131 <sup>a</sup>	131 <sup>ab</sup>	103 <sup>abc</sup>	121 <sup>a</sup>
MC80	165 <sup>a</sup>	130 <sup>a</sup>	154 <sup>b</sup>	141 <sup>a</sup>	138 <sup>a</sup>	127 <sup>ab</sup>	115 <sup>bc</sup>	126 <sup>a</sup>	138 <sup>a</sup>	127 <sup>ab</sup>	115 <sup>bc</sup>	126 <sup>a</sup>
MS49	155 <sup>a</sup>	161 <sup>ab</sup>	143 <sup>b</sup>	156 <sup>a</sup>	109 <sup>a</sup>	118 <sup>ab</sup>	93 <sup>ab</sup>	110 <sup>a</sup>	109 <sup>a</sup>	118 <sup>ab</sup>	93 <sup>ab</sup>	110 <sup>a</sup>
MS104	156 <sup>a</sup>	134 <sup>ab</sup>	112 <sup>a</sup>	138 <sup>a</sup>	114 <sup>a</sup>	89 <sup>a</sup>	90 <sup>a</sup>	113 <sup>a</sup>	114 <sup>a</sup>	89 <sup>a</sup>	90 <sup>a</sup>	113 <sup>a</sup>
<b>Riego</b>	<b>151<sup>α</sup></b>	<b>151<sup>α</sup></b>	<b>140<sup>α</sup></b>	<b>147<sup>α</sup></b>	<b>124<sup>α</sup></b>	<b>126<sup>α</sup></b>	<b>103<sup>α</sup></b>	<b>120<sup>β</sup></b>	<b>124<sup>α</sup></b>	<b>126<sup>α</sup></b>	<b>103<sup>α</sup></b>	<b>120<sup>β</sup></b>

RDC, riego deficitario controlado;  $\Psi_s$ , potencial hídrico;  $g_s$ , conductancia estomática;  $A_N/g_s$ , tasa fotosintética;  $A_N/g_s$ , eficiencia intrínseca del uso del agua. Separación de medias realizadas con el test de rangos múltiples de Duncan. Para cada periodo fenológico y genotipo, diferentes letras en la misma columna (a-c) indican diferencias significativas entre genotipos ( $p < 0,05$ ). Para cada parámetro fisiológico, diferentes letras en la misma fila ( $\alpha, \beta$ ) indican diferencias significativas entre tratamientos de riego ( $p < 0,05$ ).

Anexo 8. Valores medios de los parámetros productivos durante las campañas 2018-2021

Año	Genotipo	Producción (Kg vid <sup>-1</sup> )		Número de racimos		Peso racimo (g)		Peso baya (g)		% hollejo		% semillas	
		RDC	Secano	RDC	Secano	RDC	Secano	RDC	Secano	RDC	Secano	RDC	Secano
2018	MC16	2,55	2,10	20	20	130,9	109,0	0,97	0,75	18,63	15,11	7,51	8,13
	MC19	1,83	1,56	22	27	89,0	62,7	1,17	0,79	8,66	12,45	4,47	8,38
	MC72	1,75	1,25	25	22	70,4	61,8	0,94	0,78	13,41	11,00	7,92	10,10
	MC80	2,89	2,07	22	21	139,5	99,1	1,17	0,88	13,46	15,46	5,70	6,59
	MS49	3,17	2,27	28	33	118,0	70,6	1,20	0,82	7,31	8,17	6,47	9,36
	MS104	2,90	2,00	22	20	148,1	112,3	0,72	0,70	11,20	10,99	8,39	9,51
<b>Riego</b>	<b>2,54</b>	<b>1,88</b>	<b>23</b>	<b>24</b>	<b>116,1</b>	<b>85,4</b>	<b>1,05</b>	<b>0,88</b>	<b>11,69</b>	<b>11,27</b>	<b>6,74</b>	<b>8,68</b>	
2019	MC16	1,97	0,86	22	23	88,6	37,2	0,71	0,52	9,98	11,71	8,86	13,87
	MC19	1,10	0,50	13	10	80,2	43,6	0,98	0,64	9,39	8,77	5,73	7,40
	MC72	1,50	0,54	21	15	69,5	34,8	0,97	0,77	9,60	9,17	6,66	8,43
	MC80	1,30	0,77	21	17	60,9	38,4	1,08	0,66	12,31	12,19	8,54	8,96
	MS49	2,03	0,62	23	17	87,1	36,4	1,19	0,59	5,83	8,26	6,65	10,08
	MS104	2,18	1,33	17	19	124,8	68,3	1,03	0,78	7,87	7,51	7,11	9,90
<b>Riego</b>	<b>1,67</b>	<b>0,74</b>	<b>20</b>	<b>16</b>	<b>84,6</b>	<b>42,8</b>	<b>1,00</b>	<b>0,77</b>	<b>9,78</b>	<b>11,25</b>	<b>7,26</b>	<b>9,77</b>	
2020	MC16	1,12	0,68	19	21	58,0	30,1	0,85	0,64	12,27	13,49	8,97	10,23
	MC19	1,29	0,63	19	12	67,3	45,7	1,00	0,89	8,37	7,98	6,41	5,61
	MC72	1,82	0,83	23	18	78,4	46,7	1,13	0,83	11,67	10,13	8,95	10,67
	MC80	1,04	0,79	17	15	62,4	44,9	1,04	0,96	11,96	12,04	8,43	10,29
	MS49	1,34	0,42	20	16	64,5	24,9	1,19	0,66	7,50	7,93	7,49	9,82
	MS104	1,39	0,92	18	14	73,4	60,5	1,19	1,02	7,10	6,85	6,29	7,84
<b>Riego</b>	<b>1,33</b>	<b>0,71</b>	<b>19</b>	<b>16</b>	<b>66,8</b>	<b>42,2</b>	<b>1,00</b>	<b>0,82</b>	<b>11,25</b>	<b>11,68</b>	<b>7,76</b>	<b>9,08</b>	
2021	MC16	2,29	1,53	19	19	115,2	79,6	1,39	0,93	11,04	12,57	6,89	9,55
	MC19	2,43	1,32	18	13	130,1	88,1	1,42	1,03	7,72	8,66	3,90	5,18
	MC72	1,84	1,24	21	18	86,4	67,8	1,17	1,13	10,33	10,22	7,09	7,27
	MC80	1,78	1,51	19	17	92,8	89,3	1,34	1,27	12,67	12,41	7,94	8,52
	MS49	2,95	0,90	22	16	133,7	56,6	1,75	1,01	7,89	9,80	5,53	8,06
	MS104	3,47	1,70	18	17	176,1	98,1	1,61	1,34	8,77	8,70	5,01	6,40
<b>Riego</b>	<b>2,40</b>	<b>1,37</b>	<b>20</b>	<b>16</b>	<b>119,4</b>	<b>79,4</b>	<b>1,44</b>	<b>1,12</b>	<b>9,74</b>	<b>10,39</b>	<b>6,06</b>	<b>7,49</b>	

RDC, riego deficitario controlado. Separación de medias realizadas con el test de rangos múltiples de Duncan. Para cada genotipo y año, diferentes letras en la misma columna (a-e) indican diferencias significativas entre genotipos y años, respectivamente ( $p < 0,05$ ). Para cada parámetro productivo, diferentes letras en la misma fila ( $\alpha, \beta$ ) indican diferencias significativas entre tratamientos de riego ( $p < 0,05$ ).

Anexo 9. Valores medios de caracterización del racimo y baya durante las campañas 2018-2021.

Año	Genotipo	Longitud racimo (mm)		Anchura racimo (mm)		Compacidad del racimo		Longitud baya (mm)		Anchura baya (mm)		Número semillas		Peso semilla (mg)		
		RDC	Secano	RDC	Secano	RDC	Secano	RDC	Secano	RDC	Secano	RDC	Secano	RDC	Secano	
2018	MC16	173	176	94	112	Medio	Medio	11,50	11,29	11,44	10,89	2,6	2,8	26,8	25,7	
		191	164	115	97	Suelto	Suelto	12,16	10,59	12,08	10,55	1,8	2,5	27,0	23,9	
	MC72	174	156	129	106	Suelto	Suelto	10,91	10,67	10,50	10,45	1,9	2,2	37,7	37,1	
		156	137	100	87	Compacto	Compacto	12,44	11,07	12,20	10,74	2,0	2,2	35,1	32,2	
	MS49	151	141	75	71	Compacto	Compacto	13,95	12,10	12,02	10,84	2,5	2,6	31,9	31,4	
		132	130	85	89	Compacto	Compacto	10,59	10,28	9,93	10,06	2,9	2,6	23,4	30,1	
	<b>Riego</b>	<b>163</b>	<b>151</b>	<b>100</b>	<b>94</b>			<b>11,93</b>	<b>11,00</b>	<b>11,36</b>	<b>10,59</b>	<b>2,3</b>	<b>2,5</b>	<b>33,8</b>	<b>31,5</b>	
	2019	MC16	136	127	95	79	Suelto	Suelto	10,49	9,08	10,29	9,33	2,3	2,7	28,0	26,0
			129	125	92	78	Suelto	Suelto	10,83	9,77	10,81	10,05	1,8	1,7	30,2	27,2
		MC72	154	121	114	81	Muy suelto	Muy suelto	11,15	10,07	10,87	9,99	1,8	1,8	36,6	35,0
121			117	80	79	Medio	Medio	11,95	9,74	11,64	10,11	2,3	1,9	38,8	30,0	
MS49		139	99	71	59	Compacto	Compacto	12,96	10,35	11,89	9,73	2,3	2,3	34,4	25,2	
		128	111	116	93	Compacto	Compacto	11,48	10,69	10,93	10,56	2,6	2,8	28,0	26,4	
<b>Riego</b>		<b>135</b>	<b>117</b>	<b>95</b>	<b>78</b>			<b>11,48</b>	<b>9,95</b>	<b>11,07</b>	<b>9,96</b>	<b>2,3</b>	<b>2,5</b>	<b>32,4</b>	<b>30,7</b>	
2020		MC16	147	156	88	81	Suelto	Suelto	10,45	10,44	10,70	9,11	2,6	2,4	29,0	27,8
			167	152	87	71	Medio	Medio	11,05	10,74	11,09	10,85	2,1	1,8	30,5	27,8
		MC72	174	148	119	103	Muy suelto	Muy suelto	12,23	10,97	12,05	10,61	2,9	2,9	34,7	35,9
	152		127	89	77	Compacto	Compacto	11,86	11,29	11,61	11,49	2,2	2,8	39,2	34,4	
	MS49	136	113	70	47	Compacto	Suelto	12,96	10,73	12,44	9,58	2,5	2,1	35,6	29,7	
		144	113	95	93	Compacto	Compacto	11,95	11,00	12,06	11,19	2,8	3,0	26,8	26,0	
	<b>Riego</b>	<b>153</b>	<b>135</b>	<b>91</b>	<b>79</b>			<b>11,75</b>	<b>10,86</b>	<b>11,66</b>	<b>10,47</b>	<b>2,4</b>	<b>2,5</b>	<b>33,4</b>	<b>31,0</b>	
	2021	MC16	162	161	87	86	Medio	Medio	11,56	10,86	11,51	10,62	2,9	2,8	32,6	31,1
			163	128	97	70	Compacto	Medio	12,85	11,17	12,55	11,38	1,8	1,8	31,4	29,9
		MC72	170	145	128	102	Muy suelto	Muy suelto	12,24	12,04	11,69	11,74	2,2	2,2	37,4	37,6
150			153	108	99	Compacto	Compacto	12,26	12,07	12,33	12,10	2,7	2,7	39,0	40,4	
MS49		164	131	87	70	Compacto	Suelto	14,20	12,77	12,48	11,46	2,4	2,1	40,2	37,9	
		157	143	109	95	Compacto	Compacto	14,84	13,13	13,63	12,60	2,6	2,8	31,3	30,4	
<b>Riego</b>		<b>161</b>	<b>143</b>	<b>103</b>	<b>87</b>			<b>12,99</b>	<b>12,01</b>	<b>12,37</b>	<b>11,65</b>	<b>2,4</b>	<b>2,4</b>	<b>35,3</b>	<b>34,5</b>	

RDC, riego deficitario controlado. Separación de medias realizadas con el test de rangos múltiples de Duncan. Para cada genotipo y año, diferentes letras en la misma columna (a-e) indican diferencias significativas entre genotipos y años, respectivamente ( $p < 0,05$ ). Para cada parámetro de caracterización del racimo y baya, diferentes letras en la misma fila ( $\alpha, \beta$ ) indican diferencias significativas entre tratamientos de riego ( $p < 0,05$ ).

Anexo 10. Valores medios del crecimiento vegetativo durante las campañas 2018-2021.

Año	Genotipo	Tamaño tallo (cm)		Área foliar (m <sup>2</sup> vid <sup>-1</sup> )		Peso poda (g vid <sup>-1</sup> )		Índice de Ravaz	
		RDC	Secano	RDC	Secano	RDC	Secano	RDC	Secano
2018	MC16	114 <sup>a</sup> $\alpha$	136 <sup>ab</sup> $\alpha$						
	MC19	105 <sup>a</sup> $\alpha$	92 <sup>ab</sup> $\alpha$						
	MC72	128 <sup>a</sup> $\alpha$	122 <sup>ab</sup> $\alpha$						
	MC80	191 <sup>b</sup> $\alpha$	149 <sup>b</sup> $\alpha$						
	MS49	123 <sup>a</sup> $\alpha$	86 <sup>a</sup> $\alpha$						
	MS104	146 <sup>ab</sup> $\alpha$	119 <sup>ab</sup> $\alpha$						
	<b>Riego</b>	<b>135<sup>\alpha</sup></b>	<b>114<sup>\alpha</sup></b>						
2019	MC16	127 <sup>b</sup> $\alpha$	104 <sup>c</sup> $\alpha$	2,77 <sup>bc</sup> $\alpha$	2,24 <sup>b</sup> $\alpha$	443 <sup>ab</sup> $\alpha$	280 <sup>a</sup> $\alpha$	5,06 <sup>ab</sup> $\alpha$	4,18 <sup>a</sup> $\alpha$
	MC19	95 <sup>a</sup> $\beta$	54 <sup>a</sup> $\alpha$	1,69 <sup>a</sup> $\alpha$	1,14 <sup>a</sup> $\alpha$	342 <sup>a</sup> $\beta$	116 <sup>a</sup> $\alpha$	4,50 <sup>ab</sup> $\alpha$	4,21 <sup>a</sup> $\alpha$
	MC72	112 <sup>ab</sup> $\beta$	70 <sup>ab</sup> $\alpha$	2,90 <sup>c</sup> $\beta$	2,23 <sup>b</sup> $\alpha$	613 <sup>b</sup> $\beta$	275 <sup>a</sup> $\alpha$	2,95 <sup>a</sup> $\alpha$	3,08 <sup>a</sup> $\alpha$
	MC80	121 <sup>ab</sup> $\alpha$	90 <sup>bc</sup> $\alpha$	1,99 <sup>ab</sup> $\alpha$	1,60 <sup>ab</sup> $\alpha$	293 <sup>a</sup> $\alpha$	202 <sup>a</sup> $\alpha$	4,77 <sup>ab</sup> $\alpha$	4,00 <sup>a</sup> $\alpha$
	MS49	95 <sup>a</sup> $\beta$	70 <sup>ab</sup> $\alpha$	1,72 <sup>a</sup> $\alpha$	1,40 <sup>ab</sup> $\alpha$	208 <sup>a</sup> $\beta$	114 <sup>a</sup> $\alpha$	10,50 <sup>c</sup> $\alpha$	9,50 <sup>b</sup> $\alpha$
	MS104	108 <sup>ab</sup> $\beta$	66 <sup>a</sup> $\alpha$	1,93 <sup>ab</sup> $\beta$	1,21 <sup>ab</sup> $\alpha$	297 <sup>a</sup> $\beta$	104 <sup>a</sup> $\alpha$	7,00 <sup>b</sup> $\alpha$	6,36 <sup>ab</sup> $\alpha$
	<b>Riego</b>	<b>110<sup>\beta</sup></b>	<b>75<sup>\alpha</sup></b>	<b>2,76<sup>\beta</sup></b>	<b>1,64<sup>\alpha</sup></b>	<b>376<sup>\beta</sup></b>	<b>183<sup>\alpha</sup></b>	<b>5,73<sup>\alpha</sup></b>	<b>5,34<sup>\alpha</sup></b>
2020	MC16	94 <sup>ab</sup> $\alpha$	81 <sup>b</sup> $\alpha$	2,62 <sup>ab</sup> $\alpha$	2,00 <sup>bc</sup> $\alpha$	288 <sup>ab</sup> $\alpha$	254 <sup>a</sup> $\alpha$	4,81 <sup>a</sup> $\alpha$	2,35 <sup>a</sup> $\alpha$
	MC19	80 <sup>a</sup> $\beta$	51 <sup>a</sup> $\alpha$	1,80 <sup>a</sup> $\alpha$	1,19 <sup>a</sup> $\alpha$	223 <sup>a</sup> $\beta$	112 <sup>a</sup> $\alpha$	6,23 <sup>ab</sup> $\alpha$	5,42 <sup>a</sup> $\alpha$
	MC72	114 <sup>b</sup> $\beta$	69 <sup>ab</sup> $\alpha$	3,16 <sup>b</sup> $\beta$	2,12 <sup>c</sup> $\alpha$	436 <sup>b</sup> $\beta$	236 <sup>a</sup> $\alpha$	4,79 <sup>a</sup> $\alpha$	3,78 <sup>a</sup> $\alpha$
	MC80	84 <sup>a</sup> $\alpha$	78 <sup>b</sup> $\alpha$	2,15 <sup>a</sup> $\alpha$	1,67 <sup>abc</sup> $\alpha$	193 <sup>a</sup> $\alpha$	199 <sup>a</sup> $\alpha$	5,83 <sup>ab</sup> $\beta$	3,43 <sup>a</sup> $\alpha$
	MS49	88 <sup>ab</sup> $\beta$	57 <sup>a</sup> $\alpha$	1,83 <sup>a</sup> $\alpha$	1,30 <sup>ab</sup> $\alpha$	208 <sup>a</sup> $\alpha$	112 <sup>a</sup> $\alpha$	8,53 <sup>b</sup> $\alpha$	11,12 <sup>b</sup> $\alpha$
	MS104	94 <sup>ab</sup> $\beta$	63 <sup>ab</sup> $\alpha$	2,71 <sup>ab</sup> $\beta$	1,05 <sup>a</sup> $\alpha$	288 <sup>ab</sup> $\beta$	95 <sup>a</sup> $\alpha$	6,58 <sup>ab</sup> $\alpha$	5,27 <sup>a</sup> $\alpha$
	<b>Riego</b>	<b>93<sup>\beta</sup></b>	<b>68<sup>\alpha</sup></b>	<b>2,41<sup>\beta</sup></b>	<b>1,55<sup>\alpha</sup></b>	<b>279<sup>\beta</sup></b>	<b>166<sup>\alpha</sup></b>	<b>5,97<sup>\alpha</sup></b>	<b>5,41<sup>\alpha</sup></b>
2021	MC16	151 <sup>a</sup> $\alpha$	125 <sup>b</sup> $\alpha$	2,85 <sup>a</sup> $\alpha$	2,80 <sup>ab</sup> $\alpha$	550 <sup>a</sup> $\alpha$	448 <sup>ab</sup> $\alpha$	5,03 <sup>ab</sup> $\alpha$	3,39 <sup>a</sup> $\alpha$
	MC19	127 <sup>a</sup> $\beta$	66 <sup>a</sup> $\alpha$	3,80 <sup>a</sup> $\beta$	2,03 <sup>ab</sup> $\alpha$	684 <sup>a</sup> $\beta$	264 <sup>ab</sup> $\alpha$	4,26 <sup>a</sup> $\alpha$	5,67 <sup>b</sup> $\alpha$
	MC72	125 <sup>a</sup> $\alpha$	116 <sup>b</sup> $\alpha$	4,18 <sup>a</sup> $\alpha$	3,21 <sup>b</sup> $\alpha$	793 <sup>a</sup> $\alpha$	607 <sup>b</sup> $\alpha$	2,79 <sup>a</sup> $\alpha$	2,41 <sup>a</sup> $\alpha$
	MC80	125 <sup>a</sup> $\alpha$	116 <sup>b</sup> $\alpha$	3,39 <sup>a</sup> $\alpha$	2,95 <sup>ab</sup> $\alpha$	540 <sup>a</sup> $\alpha$	408 <sup>ab</sup> $\alpha$	4,30 <sup>a</sup> $\alpha$	3,38 <sup>a</sup> $\alpha$
	MS49	129 <sup>a</sup> $\beta$	78 <sup>a</sup> $\alpha$	2,95 <sup>a</sup> $\alpha$	1,59 <sup>a</sup> $\alpha$	555 <sup>a</sup> $\beta$	181 <sup>a</sup> $\alpha$	7,29 <sup>b</sup> $\alpha$	9,41 <sup>c</sup> $\alpha$
	MS104	126 <sup>a</sup> $\beta$	90 <sup>ab</sup> $\alpha$	3,13 <sup>a</sup> $\beta$	1,88 <sup>ab</sup> $\alpha$	447 <sup>a</sup> $\beta$	194 <sup>a</sup> $\alpha$	7,21 <sup>b</sup> $\alpha$	5,67 <sup>b</sup> $\alpha$
	<b>Riego</b>	<b>130<sup>\beta</sup></b>	<b>103<sup>\alpha</sup></b>	<b>3,39<sup>\beta</sup></b>	<b>2,42<sup>\alpha</sup></b>	<b>595<sup>\beta</sup></b>	<b>386<sup>\alpha</sup></b>	<b>5,24<sup>\alpha</sup></b>	<b>4,92<sup>\alpha</sup></b>

RDC, riego deficitario controlado. Separación de medias realizadas con el test de rangos múltiples de Duncan. Para cada genotipo y año, diferentes letras en la misma columna (a-c) indican diferencias significativas entre genotipos y años, respectivamente ( $p < 0,05$ ). Para cada parámetro del crecimiento vegetativo, diferentes letras en la misma fila ( $\alpha, \beta$ ) indican diferencias significativas entre tratamientos de riego ( $p < 0,05$ ).



Anexo 11. Matriz de correlación de Spearman de la integral de estrés con parámetros productivos y de calidad de la uva.

Riego	S <sub>v</sub>	% hollejo	% semilla	Peso baya (g)	N° racimos	Peso racimo (g)	Producción (Kg vid <sup>-1</sup> )	CFT piel- (mg Kg uva <sup>-1</sup> )	Antocianos (mg Kg uva <sup>-1</sup> )	°Baume	pH	Acidez Total (g/L tartárico)	Tartárico (g/L)	Málico (g/L)	Tartárico / Málico	IM
S <sub>v</sub>																
RDC	1															
Secano	1															
% hollejo	n.s.	1														
RDC	0,16 **	1														
Secano	0,35 ****	0,37 ****	1													
RDC	0,45 ****	0,30 ****	1													
Secano	-0,16 *	-0,41 ****	-0,35 ****	1												
RDC	-0,35 ****	-0,23 ****	-0,32 ****	1												
Secano	-0,29 ****	-0,15 *	-0,15 *	0,25 ****	1											
RDC	-0,25 ****	n.s.	n.s.	0,16 **	1											
Secano	-0,18 **	-0,31 ****	-0,21 ****	0,43 ****	0,17 **	1										
RDC	-0,35 ****	-0,31 ****	-0,28 ****	0,65 ****	0,31 ****	1										
Secano	-0,26 ****	-0,31 ****	-0,23 ****	0,45 ****	0,60 ****	0,87 ****	1									
RDC	-0,37 ****	-0,20 ****	-0,23 ****	0,57 ****	0,66 ****	0,90 ****	1									
Secano	0,36 ****	0,46 ****	0,35 ****	-0,48 ****	-0,32 ****	-0,23 ****	-0,32 ****	1								
RDC	0,31 ****	0,49 ****	0,26 ****	-0,23 ****	n.s.	-0,28 ****	-0,23 ****	1								
Secano	0,22 ****	0,41 ****	0,14 *	-0,36 ****	-0,36 ****	-0,37 ****	-0,46 ****	0,71 ****	1							
RDC	0,24 ****	0,32 ****	n.s.	-0,39 ****	n.s.	-0,37 ****	-0,26 ****	0,68 ****	1							
Secano	0,13 *	0,24 ****	0,26 ****	-0,26 ****	n.s.	-0,34 ****	-0,28 ****	n.s.	0,27 ****	1						
RDC	n.s.	0,41 ****	0,24 ****	-0,34 ****	n.s.	-0,42 ****	-0,39 ****	0,20 ****	0,42 ****	1						
Secano	n.s.	n.s.	-0,20 ****	0,30 ****	0,17 **	0,12 *	0,19 **	-0,20 ****	n.s.	0,33 ****	1					
RDC	n.s.	0,21 ****	n.s.	n.s.	0,18 **	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	0,25 ****	1					
Secano	n.s.	0,17 ****	n.s.	-0,17 **	-0,16 *	-0,16 **	-0,20 ****	0,40 ****	0,24 ****	n.s.	-0,33 ****	1				
RDC	n.s.	0,26 ****	n.s.	-0,14 *	0,13 *	-0,12 *	n.s.	0,42 ****	0,37 ****	0,20 ****	-0,22 ****	1				
Secano	n.s.	-0,31 ****	n.s.	0,13 *	0,20 ****	0,29 ****	0,34 ****	-0,40 ****	-0,49 ****	n.s.	0,28 ****	-0,32 ****	1			
RDC	n.s.	-0,29 ****	n.s.	0,25 ****	-0,15 *	0,29 ****	0,19 ****	-0,20 ****	-0,30 ****	-0,14 *	n.s.	-0,18 ****	1			
Secano	n.s.	-0,13 *	-0,20 ****	0,21 ****	0,14 *	n.s.	0,16 **	n.s.	n.s.	n.s.	0,41 ****	0,52 ****	n.s.	1		
RDC	n.s.	0,21 ****	n.s.	-0,26 ****	0,32 ****	n.s.	n.s.	n.s.	0,18 ****	0,21 ****	0,41 ****	0,50 ****	-0,38 ****	1		
Secano	n.s.	n.s.	0,15 *	-0,16 **	n.s.	n.s.	n.s.	-0,15 *	-0,15 *	n.s.	-0,26 ****	-0,58 ****	0,48 ****	-0,90 ****	1	
RDC	n.s.	-0,25 ****	n.s.	0,27 ****	-0,31 ****	0,13 *	n.s.	-0,12 *	-0,24 ****	-0,16 **	-0,31 ****	-0,43 ****	0,70 ****	-0,91 ****	1	
Secano	n.s.	n.s.	n.s.	0,14 *	0,14 *	n.s.	n.s.	-0,31 ****	n.s.	0,61 ****	0,45 ****	-0,83 ****	0,34 ****	-0,35 ****	0,45 ****	1
RDC	0,13 *	n.s.	n.s.	n.s.	-0,19 ****	-0,14 *	-0,20 ****	-0,25 ****	n.s.	0,35 ****	0,40 ****	-0,82 ****	n.s.	-0,33 ****	0,26 ****	1
Secano																

RDC, riego deficitario controlado; S<sub>v</sub>, integral de estrés; %hollejo, contribución del hollejo al peso de la baya; %semilla, contribución de las semillas al peso de la baya; CFT, contenido en fenoles totales; IM, índice de madurez expresado como la relación entre el °Baumé y la acidez total. Correlación significativa: \* ( $p < 0,05$ ), \*\* ( $p < 0,01$ ), \*\*\* ( $p < 0,005$ ), \*\*\*\* ( $p < 0,001$ ). Correlación no significativa: n.s.

Anexo 12. Valores medios de los parámetros de calidad de las uvas durante las campañas 2018-2021.

Año	Genotipo	CFT pti-pepita (mg Kg uva <sup>-1</sup> )		Antocianos (mg Kg uva <sup>-1</sup> )		°Baumé		pH		Acidez Total (g/L tartárico)		Acido tartárico (g/L)		Acido Málico (g/L)		Tartárico / Málico		IM	
		RDC	Secano	RDC	Secano	RDC	Secano	RDC	Secano	RDC	Secano	RDC	Secano	RDC	Secano	RDC	Secano	RDC	Secano
2018	MC16	2849 <sup>c</sup>	3217 <sup>b</sup>	2844 <sup>d</sup>	3322 <sup>c</sup>	13,8 <sup>d</sup>	13,8 <sup>d</sup>	4,17 <sup>d</sup>	4,08 <sup>c</sup>	4,10 <sup>d</sup>	4,89 <sup>c</sup>	5,99 <sup>d</sup>	6,85 <sup>e</sup>	2,83 <sup>d</sup>	2,57 <sup>d</sup>	2,12 <sup>a</sup>	2,66 <sup>b</sup>	3,36 <sup>bc</sup>	2,82 <sup>a</sup>
	MC19	2038 <sup>a</sup>	3093 <sup>b</sup>	2103 <sup>b</sup>	3344 <sup>c</sup>	11,6 <sup>b</sup>	11,6 <sup>b</sup>	3,95 <sup>b</sup>	3,99 <sup>b</sup>	3,50 <sup>b</sup>	3,02 <sup>a</sup>	5,58 <sup>c</sup>	4,98 <sup>bc</sup>	1,41 <sup>a</sup>	1,07 <sup>a</sup>	3,97 <sup>d</sup>	4,68 <sup>d</sup>	3,31 <sup>b</sup>	3,72 <sup>b</sup>
	MC72	2098 <sup>a</sup>	3316 <sup>b</sup>	1213 <sup>a</sup>	2254 <sup>b</sup>	14,1 <sup>e</sup>	14,1 <sup>e</sup>	4,18 <sup>d</sup>	4,14 <sup>d</sup>	3,92 <sup>c</sup>	3,56 <sup>ab</sup>	5,62 <sup>c</sup>	5,96 <sup>d</sup>	2,61 <sup>c</sup>	1,88 <sup>c</sup>	2,15 <sup>a</sup>	3,17 <sup>c</sup>	3,59 <sup>d</sup>	3,75 <sup>b</sup>
	MC80	3239 <sup>d</sup>	3844 <sup>c</sup>	2807 <sup>c</sup>	3224 <sup>c</sup>	11,5 <sup>b</sup>	12,7 <sup>d</sup>	3,98 <sup>c</sup>	4,10 <sup>c</sup>	3,36 <sup>a</sup>	3,11 <sup>a</sup>	3,98 <sup>a</sup>	3,30 <sup>a</sup>	1,78 <sup>b</sup>	1,65 <sup>b</sup>	2,24 <sup>a</sup>	2,01 <sup>a</sup>	3,43 <sup>c</sup>	4,10 <sup>b</sup>
	MS49	2408 <sup>b</sup>	3138 <sup>b</sup>	2385 <sup>c</sup>	3173 <sup>c</sup>	12,6 <sup>c</sup>	11,9 <sup>c</sup>	4,00 <sup>c</sup>	4,01 <sup>a</sup>	3,45 <sup>ab</sup>	4,98 <sup>c</sup>	5,77 <sup>cd</sup>	4,91 <sup>b</sup>	1,76 <sup>b</sup>	2,48 <sup>d</sup>	3,29 <sup>c</sup>	1,98 <sup>a</sup>	3,66 <sup>d</sup>	2,43 <sup>a</sup>
	MS104	3483 <sup>d</sup>	2462 <sup>a</sup>	2362 <sup>bc</sup>	1935 <sup>a</sup>	9,4 <sup>a</sup>	10,5 <sup>a</sup>	3,82 <sup>a</sup>	3,91 <sup>a</sup>	4,26 <sup>e</sup>	4,22 <sup>bc</sup>	5,24 <sup>b</sup>	5,11 <sup>c</sup>	1,85 <sup>b</sup>	2,04 <sup>c</sup>	2,84 <sup>b</sup>	2,51 <sup>b</sup>	2,22 <sup>a</sup>	2,49 <sup>a</sup>
	Riego	2686 <sup>a</sup>	3178 <sup>b</sup>	2286 <sup>a</sup>	2875 <sup>b</sup>	12,2 <sup>a</sup>	12,2 <sup>a</sup>	4,01 <sup>a</sup>	4,04 <sup>a</sup>	3,76 <sup>a</sup>	3,96 <sup>a</sup>	5,36 <sup>a</sup>	5,18 <sup>a</sup>	2,04 <sup>a</sup>	1,95 <sup>a</sup>	2,77 <sup>a</sup>	2,84 <sup>a</sup>	3,26 <sup>a</sup>	3,22 <sup>a</sup>
	MC16	3289 <sup>b</sup>	3764 <sup>de</sup>	2637 <sup>c</sup>	3393 <sup>d</sup>	12,8 <sup>b</sup>	14,2 <sup>e</sup>	3,84 <sup>b</sup>	3,86 <sup>c</sup>	6,11 <sup>d</sup>	6,93 <sup>e</sup>	4,61 <sup>a</sup>	3,70 <sup>a</sup>	3,68 <sup>f</sup>	3,85 <sup>f</sup>	1,25 <sup>a</sup>	0,96 <sup>a</sup>	2,09 <sup>a</sup>	2,05 <sup>b</sup>
	MC19	2432 <sup>a</sup>	3204 <sup>c</sup>	2724 <sup>c</sup>	2913 <sup>c</sup>	13,8 <sup>e</sup>	13,6 <sup>d</sup>	3,93 <sup>c</sup>	4,02 <sup>d</sup>	4,21 <sup>b</sup>	4,21 <sup>b</sup>	5,50 <sup>c</sup>	5,61 <sup>c</sup>	1,33 <sup>a</sup>	1,52 <sup>b</sup>	4,14 <sup>f</sup>	3,70 <sup>e</sup>	3,52 <sup>e</sup>	3,23 <sup>c</sup>
	MC72	2598 <sup>a</sup>	2101 <sup>a</sup>	1437 <sup>a</sup>	1470 <sup>a</sup>	14,2 <sup>f</sup>	13,3 <sup>b</sup>	4,02 <sup>d</sup>	4,01 <sup>d</sup>	3,91 <sup>a</sup>	3,57 <sup>a</sup>	6,49 <sup>d</sup>	5,44 <sup>c</sup>	1,93 <sup>c</sup>	1,65 <sup>c</sup>	3,38 <sup>e</sup>	3,30 <sup>d</sup>	3,65 <sup>f</sup>	3,73 <sup>f</sup>
2019	MC80	3214 <sup>b</sup>	3555 <sup>d</sup>	3144 <sup>d</sup>	3268 <sup>d</sup>	13,2 <sup>d</sup>	13,4 <sup>c</sup>	3,69 <sup>a</sup>	3,58 <sup>a</sup>	4,98 <sup>c</sup>	5,41 <sup>d</sup>	4,58 <sup>a</sup>	4,59 <sup>b</sup>	1,70 <sup>b</sup>	1,34 <sup>a</sup>	2,71 <sup>d</sup>	3,44 <sup>d</sup>	2,65 <sup>c</sup>	2,47 <sup>c</sup>
	MS49	2371 <sup>a</sup>	4010 <sup>e</sup>	2734 <sup>c</sup>	4115 <sup>e</sup>	13,1 <sup>c</sup>	15,2 <sup>f</sup>	4,03 <sup>d</sup>	4,11 <sup>e</sup>	4,48 <sup>b</sup>	5,26 <sup>d</sup>	4,72 <sup>a</sup>	4,61 <sup>b</sup>	3,10 <sup>e</sup>	3,06 <sup>e</sup>	1,52 <sup>b</sup>	1,51 <sup>b</sup>	2,92 <sup>d</sup>	2,89 <sup>d</sup>
	MS104	2445 <sup>a</sup>	2609 <sup>b</sup>	2190 <sup>b</sup>	2220 <sup>b</sup>	10,8 <sup>a</sup>	9,0 <sup>a</sup>	3,93 <sup>c</sup>	3,69 <sup>b</sup>	4,35 <sup>b</sup>	4,90 <sup>c</sup>	4,93 <sup>b</sup>	4,18 <sup>b</sup>	2,67 <sup>d</sup>	2,36 <sup>d</sup>	1,85 <sup>c</sup>	1,78 <sup>c</sup>	2,50 <sup>b</sup>	1,84 <sup>a</sup>
	Riego	2725 <sup>a</sup>	3207 <sup>b</sup>	2478 <sup>a</sup>	2897 <sup>b</sup>	13,0 <sup>a</sup>	13,1 <sup>a</sup>	3,91 <sup>a</sup>	3,88 <sup>a</sup>	4,62 <sup>a</sup>	5,05 <sup>a</sup>	5,14 <sup>a</sup>	4,69 <sup>a</sup>	2,40 <sup>a</sup>	2,29 <sup>a</sup>	2,47 <sup>a</sup>	2,45 <sup>a</sup>	2,89 <sup>a</sup>	2,70 <sup>a</sup>
	MC16	3560 <sup>d</sup>	3352 <sup>c</sup>	3525 <sup>e</sup>	3473 <sup>d</sup>	14,8 <sup>e</sup>	14,6 <sup>d</sup>	3,97 <sup>c</sup>	4,02 <sup>cd</sup>	4,86 <sup>e</sup>	4,93 <sup>d</sup>	4,20 <sup>a</sup>	4,01 <sup>a</sup>	2,67 <sup>d</sup>	2,84 <sup>c</sup>	1,59 <sup>a</sup>	1,42 <sup>a</sup>	3,04 <sup>b</sup>	2,98 <sup>a</sup>
	MC19	2479 <sup>b</sup>	2485 <sup>a</sup>	2806 <sup>d</sup>	2815 <sup>b</sup>	14,2 <sup>de</sup>	13,9 <sup>c</sup>	3,96 <sup>c</sup>	3,90 <sup>b</sup>	3,23 <sup>a</sup>	3,46 <sup>a</sup>	5,23 <sup>c</sup>	5,34 <sup>d</sup>	1,28 <sup>a</sup>	1,24 <sup>a</sup>	4,12 <sup>e</sup>	4,34 <sup>e</sup>	4,40 <sup>d</sup>	4,02 <sup>c</sup>
	MC72	2148 <sup>a</sup>	2443 <sup>a</sup>	2108 <sup>a</sup>	2000 <sup>a</sup>	13,6 <sup>cd</sup>	13,1 <sup>b</sup>	3,85 <sup>b</sup>	4,03 <sup>d</sup>	3,76 <sup>b</sup>	3,68 <sup>ab</sup>	5,26 <sup>c</sup>	4,55 <sup>bc</sup>	1,99 <sup>b</sup>	2,26 <sup>b</sup>	2,67 <sup>cd</sup>	2,06 <sup>b</sup>	3,62 <sup>c</sup>	3,56 <sup>b</sup>
	MC80	3217 <sup>c</sup>	3999 <sup>d</sup>	2841 <sup>d</sup>	3081 <sup>c</sup>	12,4 <sup>b</sup>	12,9 <sup>b</sup>	3,64 <sup>a</sup>	3,70 <sup>a</sup>	4,57 <sup>d</sup>	4,65 <sup>c</sup>	4,33 <sup>a</sup>	5,00 <sup>d</sup>	1,51 <sup>a</sup>	1,40 <sup>a</sup>	2,94 <sup>d</sup>	3,56 <sup>d</sup>	2,72 <sup>a</sup>	2,78 <sup>a</sup>
	MS49	2203 <sup>a</sup>	3222 <sup>c</sup>	2636 <sup>c</sup>	3577 <sup>d</sup>	13,2 <sup>c</sup>	14,4 <sup>cd</sup>	4,05 <sup>d</sup>	4,08 <sup>d</sup>	3,84 <sup>b</sup>	3,84 <sup>b</sup>	4,58 <sup>ab</sup>	4,24 <sup>ab</sup>	2,37 <sup>cd</sup>	2,15 <sup>b</sup>	1,97 <sup>ab</sup>	1,99 <sup>b</sup>	3,45 <sup>c</sup>	3,77 <sup>b</sup>
	MS104	2356 <sup>b</sup>	2749 <sup>b</sup>	2463 <sup>b</sup>	2669 <sup>b</sup>	11,3 <sup>a</sup>	11,1 <sup>a</sup>	3,88 <sup>b</sup>	3,91 <sup>bc</sup>	4,26 <sup>c</sup>	3,77 <sup>b</sup>	5,08 <sup>bc</sup>	4,61 <sup>c</sup>	2,30 <sup>c</sup>	2,00 <sup>b</sup>	2,33 <sup>bc</sup>	2,43 <sup>c</sup>	2,65 <sup>a</sup>	2,95 <sup>a</sup>
2021	Riego	2661 <sup>a</sup>	3042 <sup>b</sup>	2730 <sup>a</sup>	2936 <sup>b</sup>	13,2 <sup>a</sup>	13,3 <sup>a</sup>	3,89 <sup>a</sup>	3,94 <sup>a</sup>	4,09 <sup>a</sup>	4,05 <sup>a</sup>	4,78 <sup>a</sup>	4,62 <sup>a</sup>	2,02 <sup>a</sup>	1,98 <sup>a</sup>	2,60 <sup>a</sup>	2,63 <sup>a</sup>	3,31 <sup>a</sup>	3,34 <sup>a</sup>
	MC16	2915 <sup>d</sup>	3352 <sup>c</sup>	2725 <sup>c</sup>	3217 <sup>d</sup>	14,2 <sup>d</sup>	13,8 <sup>cd</sup>	4,14 <sup>bc</sup>	4,27 <sup>c</sup>	3,86 <sup>bc</sup>	4,37 <sup>c</sup>	5,68 <sup>c</sup>	5,48 <sup>ab</sup>	2,77 <sup>c</sup>	2,50 <sup>e</sup>	2,06 <sup>a</sup>	2,22 <sup>a</sup>	3,69 <sup>cd</sup>	3,17 <sup>b</sup>
	MC19	2053 <sup>a</sup>	2485 <sup>a</sup>	2146 <sup>b</sup>	2323 <sup>b</sup>	13,2 <sup>bc</sup>	12,4 <sup>b</sup>	3,94 <sup>a</sup>	3,91 <sup>ab</sup>	4,01 <sup>c</sup>	3,51 <sup>a</sup>	5,92 <sup>cd</sup>	5,66 <sup>b</sup>	2,05 <sup>b</sup>	1,23 <sup>a</sup>	2,92 <sup>b</sup>	4,65 <sup>c</sup>	3,31 <sup>c</sup>	3,57 <sup>c</sup>
	MC72	2340 <sup>b</sup>	2443 <sup>a</sup>	2143 <sup>b</sup>	2056 <sup>a</sup>	14,1 <sup>d</sup>	14,2 <sup>d</sup>	4,20 <sup>c</sup>	4,23 <sup>c</sup>	3,59 <sup>b</sup>	3,51 <sup>a</sup>	6,12 <sup>d</sup>	6,51 <sup>c</sup>	2,21 <sup>b</sup>	1,90 <sup>c</sup>	2,79 <sup>b</sup>	3,45 <sup>b</sup>	3,94 <sup>d</sup>	4,05 <sup>d</sup>
	MC80	3755 <sup>e</sup>	3999 <sup>d</sup>	2947 <sup>d</sup>	2792 <sup>c</sup>	13,5 <sup>cd</sup>	12,0 <sup>b</sup>	4,06 <sup>b</sup>	3,96 <sup>b</sup>	3,10 <sup>a</sup>	3,75 <sup>a</sup>	4,81 <sup>a</sup>	5,16 <sup>a</sup>	1,40 <sup>a</sup>	1,44 <sup>ab</sup>	3,66 <sup>c</sup>	3,74 <sup>ba</sup>	4,40 <sup>e</sup>	3,25 <sup>bc</sup>
	MS49	2654 <sup>c</sup>	2749 <sup>b</sup>	2618 <sup>c</sup>	3415 <sup>e</sup>	12,5 <sup>b</sup>	13,4 <sup>c</sup>	3,97 <sup>a</sup>	3,96 <sup>b</sup>	4,49 <sup>d</sup>	4,57 <sup>c</sup>	5,28 <sup>b</sup>	5,17 <sup>a</sup>	2,76 <sup>c</sup>	2,26 <sup>d</sup>	1,92 <sup>a</sup>	2,30 <sup>a</sup>	2,81 <sup>b</sup>	2,95 <sup>b</sup>
	MS104	2276 <sup>b</sup>	3222 <sup>c</sup>	1963 <sup>a</sup>	2127 <sup>a</sup>	10,3 <sup>a</sup>	10,2 <sup>a</sup>	3,90 <sup>a</sup>	3,85 <sup>a</sup>	4,84 <sup>e</sup>	4,08 <sup>b</sup>	5,80 <sup>cd</sup>	5,78 <sup>b</sup>	3,24 <sup>c</sup>	1,74 <sup>c</sup>	1,96 <sup>a</sup>	3,35 <sup>b</sup>	2,17 <sup>a</sup>	2,52 <sup>a</sup>
	Riego	2665 <sup>a</sup>	3125 <sup>b</sup>	2424 <sup>a</sup>	2655 <sup>b</sup>	13,0 <sup>a</sup>	12,7 <sup>a</sup>	4,04 <sup>a</sup>	4,03 <sup>a</sup>	3,98 <sup>a</sup>	3,96 <sup>a</sup>	5,60 <sup>a</sup>	5,62 <sup>a</sup>	2,41 <sup>b</sup>	1,84 <sup>a</sup>	2,55 <sup>a</sup>	3,28 <sup>b</sup>	3,38 <sup>a</sup>	3,25 <sup>a</sup>

RDC, riego deficitario controlado; CFT, contenido en fenoles totales; IM, índice de madurez expresado como la relación entre el °Baumé y la acidez total. Separación de medias realizadas con el test de rangos múltiples de Duncan. Para cada genotipo y año, diferentes letras en la misma columna (a-f) indican diferencias significativas entre genotipos y años, respectivamente ( $p < 0,05$ ). Para cada parámetro de calidad, diferentes letras en la misma fila ( $\alpha, \beta$ ) indican diferencias significativas entre tratamientos de riego ( $p < 0,05$ ).

## Anexo 13. Grupos de calidad fenólica de uva basados en los datos medios de seis años (2012-2017).

Grupo calidad	CFT piel-pepita (mg Kg uva <sup>-1</sup> )			Antocianos (mg Kg uva <sup>-1</sup> )		
	Media	Mín	Máx	Media	Mín	Máx
2	2218	1960	2476	1381	1127	1635
3	3083	2942	3224	2410	2253	2567
4	3465	3199	3731	2805	2592	3018

CFT, contenido en fenoles totales; Mín, valor mínimo; Máx, valor máximo.



## VIII. Bibliografía



- Acevedo-Opazo, C., Ortega-Farias, S., & Fuentes, S. (2010). Effects of grapevine (*Vitis vinifera* L.) water status on water consumption, vegetative growth and grape quality: An irrigation scheduling application to achieve regulated deficit irrigation. *Agricultural Water Management*, 97(7), 956–964. DOI: 10.1016/j.agwat.2010.01.025
- Adams, D. O. (2006). Phenolics and ripening in grape berries. *American journal of Enology and Viticulture*, 57(3), 249-256.
- Alarcón, J.J., Domingo, R., Green, S.R., Sánchez-Blanco, M.J., Rodríguez, P. & Torrecillas, A. (2000). Sap flow as an indicator of transpiration and the water status of young apricot trees. *Plant and Soil*, 227, 77–85. DOI: 10.1023/A:1026520111166
- Alatzas, A., Theocharis, S., Miliordos, D.-E., Leontaridou, K., Kanellis, A. K., Kotseridis, Y., Hatzopoulos, P., & Koundouras, S. (2021). The effect of water deficit on two Greek *Vitis vinifera* L. cultivars: Physiology, grape composition and gene expression during berry development. *Plants*, 10(9), 1947. DOI: 10.3390/plants10091947
- 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(9), D05109.
- Alleweldt, G. (1965). Über den Einfluss der Temperatur auf die Blütung der Rebe. *Vitis*, 5, 10-16.
- Alleweldt, G., & Ilter, E., (1969). Untersuchungen über die Beziehungen zwischen Blütenbildung und Triebwachstum bei Reben. *Vitis* 8, 286–313.
- Alleweldt, G., & Istar, A., (1969). Über die apikale Dominanz bei Reben. *Vitis* 8, 94–104.
- Alleweldt, G., & Hifny, H. A. (1972). Zur Stiellahme der Reben. II. Kausalanalytische Untersuchungen. *Vitis*.
- Alleweldt, G., & Hofacker, W. (1975). Einfluss von Umweltfaktoren auf Austrieb, Blüte, Fruchtbarkeit und Triebwachstum bei der Rebe. *Vitis* 14, 103–115.
- Alleweldt, G., & Possingham, J. V. (1988). Progress in grapevine breeding. *Theoretical and Applied Genetics*, 75(5), 669-673.
- Alonso, R., Berli, F. J., Fontana, A., Piccoli, P., & Bottini, R. (2021). Abscisic acid's role in the modulation of compounds that contribute to wine quality. *Plants*, 10(5), 938. DOI: 10.3390/plants10050938
- Alsina, M. M., Smart, D. R., Bauerle, T., de Herralde, F., Biel, C., Stockert, C., Negron, C., & Save, R. (2011). Seasonal changes of whole root system conductance by a drought-tolerant grape root system. *Journal of Experimental Botany*, 62(1), 99-109. DOI: 10.1093/jxb/erq247
- Ayars, J. E., Abrisqueta, I., Parry, C., Perry, A., & McElrone, A. J. (2017). Water management of irrigated Cabernet Sauvignon grapevines in semi-arid areas. *American Journal of Enology and Viticulture*, 68(4), 458-467. DOI: 10.5344/ajev.2017.17022
- Baeza, P., Sánchez-de-Miguel, P., Centeno, A., Junquera, P., Linares, R., & Lissarrague, J. R. (2007). Water relations between leaf water potential, photosynthesis and agronomic

- vine response as a tool for establishing thresholds in irrigation scheduling. *Scientia Horticulturae*, 114(3), 151-158. DOI: 10.1016/j.scienta.2007.06.012
- Baeza, P., Junquera, P., Peiro, E., Ramón Lissarrague, J., Uriarte, D., & Vilanova, M. (2019). Effects of vine water status on yield components, vegetative response and must and wine composition. En: *Advances in Grape and Wine Biotechnology*; Morata, A.; Loira, I. Editorial: IntechOpen, Londres, Reino Unido, pp. 73-95. DOI: 10.5772/intechopen.77085
- Baggiolini, M. (1952). Les stades repères dans le développement de la vigne et leur utilisation pratique, Station Féd. Essais Agric., Lausanne.
- Baiano, A. (2021). An overview on sustainability in the wine production chain. *Beverages*, 7(1), 15. DOI: 10.3390/beverages7010015
- Baille, M., Laury, J. C., & Baille, A. (1991, January). Some comparative results on evapotranspiration of greenhouse ornamental crops, using lysimeter, greenhouse H<sub>2</sub>O balance and LVDT sensors. *Acta Horticulturae*, 304, 199-208.
- Balint, G., & Reynolds, A. G. (2014). Effect of different irrigation strategies on vine physiology, yield, grape composition and sensory profiles of *Vitis vinifera* L. Cabernet-Sauvignon in a cool climate area. *OENO One*, 48(4), 269-292. DOI: 10.20870/oeno-one.2014.48.4.1695
- Baluja, J., Diago, M. P., Balda, P., Zorer, R., Meggio, F., Morales, F., & Tardaguila, J. (2012). Assessment of vineyard water status variability by thermal and multispectral imagery using an unmanned aerial vehicle (UAV). *Irrigation Science*, 30(6), 511-522. DOI: 10.1007/s00271-012-0382-9
- Barbagallo, M. G., Vesco, G., Di Lorenzo, R., Lo Bianco, R., & Pisciotta, A. (2021). Soil and regulated deficit irrigation affect growth, yield and quality of «Nero d'Avola» grapes in a semi-arid environment. *Plants*, 10(4), 641. DOI: 10.3390/plants10040641
- Barnuud, N. N., Zerihun, A., Mpelasoka, F., Gibberd, M., & Bates, B. (2014). Responses of grape berry anthocyanin and titratable acidity to the projected climate change across the Western Australian wine regions. *International Journal of Biometeorology*, 58(6), 1279-1293. DOI: 10.1007/s00484-013-0724-1
- Barrios-Masias, F. H., Knipfer, T., & McElrone, A. J. (2015). Differential responses of grapevine rootstocks to water stress are associated with adjustments in fine root hydraulic physiology and suberization. *Journal of Experimental Botany*, 66(19), 6069-6078. DOI: 10.1093/jxb/erv324
- Basso, L. H., Correia, J. D. S., Dos Santos, A. R., Silva, J. A., & Costa, B. R. (2015). Deficit irrigation in grapevine cv. Syrah during two growing seasons in the Brazilian semi-arid. *Engenharia Agrícola*, 35, 430-441. DOI: 10.1590/1809-4430-Eng.Agric.v35n3p430-441/2015
- Bayo-Canha, A., Fernández-Fernández, J. I., Martínez-Cutillas, A., & Ruiz-García, L. (2012). Phenotypic segregation and relationships of agronomic traits in Monastrell × Syrah wine grape progeny. *Euphytica*; Netherlands Journal of Plant Breeding, 186(2), 393-407. DOI: 10.1007/s10681-012-0622-3



- Bchir, A.; Escalona, J.M.; Gallé, A.; & Medrano, H. (2014). Interés de la discriminación isotópica del carbono ( $\delta^{13}\text{C}$ ) como indicador de la eficiencia de uso del agua en vid. *Enoviticultura*, (31), 28-33.
- Bellvert, J., Marsal, J., Mata, M., & Girona, J. (2016). Yield, must composition, and wine quality responses to preveraison water deficits in sparkling base wines of chardonnay. *American journal of enology and viticulture*, 67(1), 1-12. DOI: 10.5344/ajev.2015.15039
- Bianchi, D., Caramanico, L., Grossi, D., Brancadoro, L., & Lorenzis, G. D. (2020). How do novel M-rootstock (*Vitis* spp.) genotypes cope with drought?. *Plants*, 9(10), 1385. DOI: 10.3390/plants9101385
- Bindon, K., Dry, P., & Loveys, B. (2008). Influence of partial rootzone drying on the composition and accumulation of anthocyanins in grape berries (*Vitis vinifera* cv. Cabernet Sauvignon). *Australian Journal of Grape and Wine Research*, 14(2), 91-103. DOI: 10.1111/j.1755-0238.2008.00009.x
- Bindon, Keren, Varela, C., Kennedy, J., Holt, H., & Herderich, M. (2013). Relationships between harvest time and wine composition in *Vitis vinifera* L. cv. Cabernet Sauvignon 1. Grape and wine chemistry. *Food Chemistry*, 138(2-3), 1696-1705. DOI: 10.1016/j.foodchem.2012.09.146
- Binenbaum, J., Weinstain, R., & Shani, E. (2018). Gibberellin localization and transport in plants. *Trends in plant science*, 23(5), 410-421. DOI: 10.1016/j.tplants.2018.02.005
- Blondel, J., & Aronson, J. (1999). *Biology and wildlife of the Mediterranean región*. Editorial: Oxford University Press, USA. ISBN: 978-0-19-850035-3
- Bock, A., Sparks, T., Estrella, N., & Menzel, A. (2011). Changes in the phenology and composition of wine from Franconia, Germany. *Climate Research*, 50(1), 69-81. DOI: 10.3354/cr01048
- Bonada, M., Jeffery, D. W., Petrie, P. R., Moran, M. A., & Sadras, V. O. (2015). Impact of elevated temperature and water deficit on the chemical and sensory profiles of Barossa Shiraz grapes and wines: Temperature and water effects on grapes and wines. *Australian Journal of Grape and Wine Research*, 21(2), 240-253. DOI: 10.1111/ajgw.12142
- Bongi, G., & Loreto, F. (1989). Gas-Exchange Properties of Salt-Stressed Olive (*Olea europea* L.) Leaves. *Plant Physiology*, 90(4), 1408-1416. DOI: 10.1104/pp.90.4.1408
- Bota, B. J., Flexas, J., & Medrano, H. (2001). Genetic variability of photosynthesis and water use in Balearic grapevine cultivars. *The Annals of Applied Biology*, 138(3), 353-361. DOI: 10.1111/j.1744-7348.2001.tb00120.x
- Bota, J., Tomás, M., Flexas, J., Medrano, H., & Escalona, J. M. (2016). Differences among grapevine cultivars in their stomatal behavior and water use efficiency under progressive water stress. *Agricultural Water Management*, 164, 91-99. DOI: 10.1016/j.agwat.2015.07.016
- Böttcher, C., Boss, P. K., & Davies, C. (2013). Increase in cytokinin levels during ripening in developing *Vitis vinifera* cv. Shiraz berries. *American journal of enology and viticulture*, 64(4), 527-531. DOI: 10.5344/ajev.2013.13053

- Boursiquot, J. M., Dessup, M., & Rennes, C. (1995). Distribution des principaux caractères phenologiques, agronomiques et technologiques chez *Vitis vinifera* L. *Vitis* 34, 31–35.
- Brancadoro, L. (2017). Nuevos portainjertos. La respuesta de VCR a las nuevas técnicas vitícolas y al cambio climático. *Enovicultura*, (44), 18-29.
- Brillante, L., Martínez-Lüscher, J., & Kurtural, S. K. (2018). Applied water and mechanical canopy management affect berry and wine phenolic and aroma composition of grapevine (*Vitis vinifera* L., cv. Syrah) in Central California. *Scientia Horticulturae*, 227, 261-271. DOI: 10.1016/j.scienta.2017.09.048
- Brodribb, T. J., & Holbrook, N. M. (2003). Stomatal closure during leaf dehydration, correlation with other leaf physiological traits. *Plant Physiology*, 132(4), 2166-2173. DOI: 10.1104/pp.103.023879
- Bucchetti, B., Matthews, M. A., Falginella, L., Peterlunger, E., & Castellarin, S. D. (2011). Effect of water deficit on Merlot grape tannins and anthocyanins across four seasons. *Scientia Horticulturae*, 128(3), 297-305. DOI: 10.1016/j.scienta.2011.02.003
- Buckley, T. N. (2019). How do stomata respond to water status? *The New Phytologist*, 224(1), 21-36. DOI: 10.1111/nph.15899
- Buesa, I., Pérez, D., Castel, J., Intrigliolo, D. S., & Castel, J. R. (2017). Effect of deficit irrigation on vine performance and grape composition of *Vitis vinifera* L. cv. Muscat of Alexandria. *Australian Journal of Grape and Wine Research*, 23(2), 251-259. DOI: 10.1111/ajgw.12280
- Buesa, I., Mirás-Avalos, J. M., De Paz, J. M., Visconti, F., Sanz, F., Yeves, A., Guerra, D., & Intrigliolo, D. S. (2021). Soil management in semi-arid vineyards: Combined effects of organic mulching and no-tillage under different water regimes. *European Journal of Agronomy: The Journal of the European Society for Agronomy*, 123(126198), 126198. DOI: 10.1016/j.eja.2020.126198
- Buttrose, M. S. (1969). Vegetative growth of grapevine varieties under controlled temperature and light intensity. *Vitis*, 8, 280-285.
- Cabral, I. L., Teixeira, A., Lanoue, A., Unlubayir, M., Munsch, T., Valente, J., Alves, F., da Costa, P. L., Rogerson, F. S., Carvalho, S. M. P., Gerós, H., & Queiroz, J. (2022). Impact of deficit irrigation on grapevine cv. «Touriga Nacional» during three seasons in Douro region: An agronomical and metabolomics approach. *Plants*, 11(6), 732. DOI: 10.3390/plants11060732
- Cáceres-Mella, A., Ribalta-Pizarro, C., Villalobos-González, L., Cuneo, I. F., & Pastenes, C. (2018). Controlled water deficit modifies the phenolic composition and sensory properties in Cabernet Sauvignon wines. *Scientia Horticulturae*, 237, 105-111. DOI: 10.1016/j.scienta.2018.04.008
- Cadot, Y., Miñana-Castelló, M. T., & Chevalier, M. (2006). Anatomical, histological, and histochemical changes in grape seeds from *Vitis vinifera* L. cv Cabernet franc during fruit development. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 54(24), 9206-9215. DOI: 10.1021/jf061326f

- 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. *Agricultural Water Management*, 170, 99-109. DOI: 10.1016/j.agwat.2016.01.004
- Carbonell-Bejerano, P., Carvalho, L.C., Dias, J.E.E., Martínez-Zapater, J.M., & Amâncio, S. (2016). Exploiting *Vitis* genetic diversity to manage with stress. En: *Grapevine in a Changing Environment: A Molecular and Ecophysiological Perspective*, 1ª ed.; Gerós, H., Chaves, M., Medrano, H., Delrot, S., (eds). Editorial: JohnWiley & Sons, USA, pp. 347–380. DOI: 10.1002/9781118735985.ch15
- Carmona, M. J., Chaïb, J., Martínez-Zapater, J. M., & Thomas, M. R. (2008). A molecular genetic perspective of reproductive development in grapevine. *Journal of Experimental Botany*. 59, 2579–2596. DOI: 10.1093/jxb/ern160
- 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(5), 7820-7844. DOI: 10.3390/molecules20057820
- Castellarin, S. D., Matthews, M. A., Di Gaspero, G., & Gambetta, G. A. (2007). Water deficits accelerate ripening and induce changes in gene expression regulating flavonoid biosynthesis in grape berries. *Plant*, 227(1), 101-112. DOI: 10.1007/s00425-007-0598-8
- Cataldo, E., Salvi, L., Sbraci, S., Storchi, P., & Mattii, G. B. (2020). Sustainable Viticulture: Effects of Soil Management in *Vitis vinifera*. *Agronomy (Basel, Switzerland)*, 10(12), 1949. DOI: 10.3390/agronomy10121949
- Cayla, L., Cottureau, P., & Renard, R. (2002). Estimation de la maturité phénolique des raisins rouges par la méthode ITV standard. *Revue française d'oenologie*, (193), 10-16.
- Chacón-Vozmediano, J. L., Martínez-Gascuña, J., García-Navarro, F. J., & Jiménez-Ballesta, R. (2020). Effects of Water Stress on Vegetative Growth and 'Merlot' Grapevine Yield in a Semi-Arid Mediterranean Climate. *Horticulturae*, 6(4), 95. DOI: 10.3390/horticulturae6040095
- Chan, K. Y., Fahey, D. J., Newell, M., & Barchia, I. (2010). Using composted mulch in vineyards — effects on grape yield and quality. *International Journal of Fruit Science*, 10(4), 441-453. DOI: 10.1080/15538362.2010.530135
- Charrier, G., Delzon, S., Domec, J.-C., Zhang, L., Delmas, C. E. L., Merlin, I., Corso, D., King, A., Ojeda, H., Ollat, N., Prieto, J. A., Scholach, T., Skinner, P., van Leeuwen, C., & Gambetta, G. A. (2018). Drought will not leave your glass empty: Low risk of hydraulic failure revealed by long-term drought observations in world's top wine regions. *Science Advances*, 4(1), eaao6969. DOI: 10.1126/sciadv.aao6969
- 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. *The Annals of Applied Biology*, 150(2), 237-252. DOI: 10.1111/j.1744-7348.2006.00123.x

- Chaves, M. M., Zarrouk, O., Francisco, R., Costa, J. M., Santos, T., Regalado, A. P., Rodrigues, M. L., & Lopes, C. M. (2010). Grapevine under deficit irrigation: hints from physiological and molecular data. *Annals of Botany*, 105(5), 661-676. DOI: 10.1093/aob/mcq030
- Cheng, H., Qin, L., Lee, S., Fu, X., Richards, D.E., Cao, D., Luo, D., Harberd, N., Peng, J. (2004). Gibberellin regulates Arabidopsis floral development via suppression of DELLA protein function. *Development* 131, 1055–1064. DOI: 10.1242/dev.00992
- Chuine, I., Yiou, P., Viovy, N., Seguin, B., Daux, V., & Ladurie, E. L. R. (2004). Grape ripening as a past climate indicator. *Nature*, 432(7015), 289-290. DOI: 10.1038/432289a
- Cifre, J., Bota, J., Escalona, J. M., Medrano, H., & Flexas, J. (2005). Physiological tools for irrigation scheduling in grapevine (*Vitis vinifera* L.). *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 106(2-3), 159-170. DOI: 10.1016/j.agee.2004.10.005
- Cochetel, N., Ghan, R., Toups, H. S., Degu, A., Tillett, R. L., Schlauch, K. A., & Cramer, G. R. (2020). Drought tolerance of the grapevine, *Vitis champinii* cv. Ramsey, is associated with higher photosynthesis and greater transcriptomic responsiveness of abscisic acid biosynthesis and signaling. *BMC plant biology*, 20(1), 1-25. DOI: 10.1186/s12870-019-2012-7
- Compés, R., & Sotés, V. (2018). *El sector vitivinícola frente al desafío del cambio climático. Estrategias públicas y privadas de mitigación y adaptación en el Mediterráneo*. Editorial: Cajamar Caja Rural, España. ISBN: 978-84-95531-92-6
- Consejo Regulador Denominación de Origen Bullas. (s. f.). Vinosdebullas.es. Recuperado 27 de junio de 2022, de <https://vinosdebullas.es/>
- Considine, J.A., & Knox, R.B., 1979. Development and histochemistry of the pistil of the grape, *Vitis vinifera*. *Annals of Botany*. 43, 11–22. DOI: 10.1093/oxfordjournals.aob.a085602
- Cook, M. G., Zhang, Y., Nelson, C. J., Gambetta, G., Kennedy, J. A., & Kurtural, S. K. (2015). Anthocyanin composition of Merlot is ameliorated by light microclimate and irrigation in central California. *American journal of enology and viticulture*, 66(3), 266-278. DOI: 10.5344/ajev.2015.15006
- Cooke, J. E., Eriksson, M. E., & Junttila, O. (2012). The dynamic nature of bud dormancy in trees: environmental control and molecular mechanisms. *Plant, cell & environment*, 35(10), 1707-1728. DOI: 10.1111/j.1365-3040.2012.02552.x
- Cooley, N. M., Clingeleffer, P. R., & Walker, R. R. (2017). Effect of water deficits and season on berry development and composition of Cabernet Sauvignon (*Vitis vinifera* L.) grown in a hot climate: Water and seasonal effect on yield and composition. *Australian Journal of Grape and Wine Research*, 23(2), 260-272. DOI: 10.1111/ajgw.12274
- Coombe, B.G., & Dry, P.R. (2006). *Viticulture. Volume 2—Practices*. Editorial: Winetitles, Adelaide, Australia. ISBN 10: 1875130012
- Cornic, G. (2000). Drought stress inhibits photosynthesis by decreasing stomatal aperture – not by affecting ATP synthesis. *Trends in Plant Science*, 5(5), 187-188. DOI: 10.1016/s1360-1385(00)01625-3

- Cosme, F., Ricardo-Da-Silva, J. M., & Laureano, O. (2009). Tannin profiles of *Vitis vinifera* L. cv. red grapes growing in Lisbon and from their monovarietal wines. *Food Chemistry*, 112(1), 197-204. DOI: 10.1016/j.foodchem.2008.05.058
- Costa, J. M., Ortuño, M. F., & Chaves, M. M. (2007). Deficit irrigation as a strategy to save water: physiology and potential application to horticulture. *Journal of integrative plant biology*, 49(10), 1421-1434. DOI: 10.1111/j.1672-9072.2007.00556.x
- Costantini, L., Battilana, J., Lamaj, F., Fanizza, G., & Grando, M. S. (2008). Berry and phenology-related traits in grapevine (*Vitis vinifera* L.): from quantitative trait loci to underlying genes. *BMC Plant Biology*, 8, 38. DOI: 10.1186/1471-2229-8-38
- Costello, M. J., & Patterson, W. K. (2012). Regulated deficit irrigation effect on yield and wine color of cabernet sauvignon in Central California. *HortScience*, 47(10), 1520-1524. DOI: 10.21273/HORTSCI.47.10.1520
- Cramer, G. R. (2010). Abiotic stress and plant responses from the whole vine to the genes. *Australian Journal of Grape and Wine Research*, 16, 86-93. DOI: 10.1111/j.1755-0238.2009.00058.x
- Cramer, W., G.W. Yohe, M. Auffhammer, C. Huggel, U. Molau, M.A.F. da Silva Dias, A. Solow, D.A. Stone, & L. Tibig. (2014). Detection and attribution of observed impacts. En: *Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Part A: Global and Sectoral Aspects. Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, pp. 979-1037. DOI: 10.1017/CBO9781107415379-005
- Currle, O., Bauer, O., Hofacker, W., Schumann, F., & Frisch, W. (1983). *Biologie der Rebe*. Editorial: Neustadt an der Weinstrasse, Meiningen, Germany. ISBN 10: 3875240316
- Dai, A. (2011). Drought under global warming: a review: Drought under global warming. *Wiley Interdisciplinary Reviews. Climate Change*, 2(1), 45-65. DOI: 10.1002/wcc.81
- Dalla Marta, A., Grifoni, D., Mancini, M., Storchi, P., Zipoli, G., & Orlandini, S. (2010). Analysis of the relationships between climate variability and grapevine phenology in the Nobile di Montepulciano wine production area. *The Journal of Agricultural Science*, 148(6), 657-666. DOI: 10.1017/s0021859610000432
- Daux, V., Garcia de Cortazar-Atauri, I., Yiou, P., Chuine, I., Garnier, E., Le Roy Ladurie, E., Mestre, O., & Tardaguila, J. (2011). An open-database of Grape Harvest dates for climate research: data description and quality assessment. *Climate of the Past Discussions*, 7, 3823-3858. DOI: 10.5194/cpd-7-3823-2011
- Dayer, S., Reingwartz, I., McElrone, A.J., & Gambetta, G.A. (2019). Response and recovery of grapevine to water deficit: from genes to physiology. En: *The grape genome*; Cantu, D., Walker, M. (eds). Editorial: Springer, 223-245. DOI: 10.1007/978-3-030-18601-2\_11
- Dayer, S., Herrera, J. C., Dai, Z., Burrett, R., Lamarque, L. J., Delzon, S., Bortolami, G., Cochard, H., & Gambetta, G. A. (2020). The sequence and thresholds of leaf hydraulic traits underlying grapevine varietal differences in drought tolerance. *Journal of Experimental Botany*, 71(14), 4333-4344. DOI: 10.1093/jxb/eraa186

- de la Hera, M. L., Martínez-Cutillas, A., López-Roca, J. M., & Gómez-Plaza, E. (2004). Effects of moderate irrigation on vegetative growth and productive parameters of Monastrell vines grown in semiarid conditions. *Spanish Journal of Agricultural Research*, 2(2), 273. DOI: 10.5424/sjar/2004022-81
- de Oliveira, A. F., Mamei, M. G., 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 African Journal of Enology and Viticulture*, 34(2), 170-183.
- de Souza, C. R., Maroco, J. P., dos Santos, T. P., Rodrigues, M. L., Lopes, C. M., Pereira, J. S., & Chaves, M. M. (2005a). Impact of deficit irrigation on water use efficiency and carbon isotope composition ( $\delta^{13}C$ ) of field-grown grapevines under Mediterranean climate. *Journal of Experimental Botany*, 56(418), 2163-2172. DOI: 10.1093/jxb/eri216
- de Souza, C. R., Maroco, J. P., dos Santos, T. P., Rodrigues, M. L., Lopes, C., Pereira, J. S., & Chaves, M. M. (2005b). Control of stomatal aperture and carbon uptake by deficit irrigation in two grapevine cultivars. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 106(2-3), 261-274. DOI: 10.1016/j.agee.2004.10.014
- Degu, A., Hochberg, U., Wong, D. C. J., Alberti, G., Lazarovitch, N., Peterlunger, E., Castellarin, S. D., Herrera, J. C., & Fait, A. (2019). Swift metabolite changes and leaf shedding are milestones in the acclimation process of grapevine under prolonged water stress. *BMC Plant Biology*, 19(1), 69. DOI: 10.1186/s12870-019-1652-y
- Deloire, A., Vaudour, E., Carey, V. A., Bonnardot, V., & van Leeuwen, C. (2005). Grapevine responses to terroir: a global approach. *OENO One*, 39(4), 149. DOI: 10.20870/oeno-one.2005.39.4.888
- Deluc, L. G., Quilici, D. R., Decendit, A., Grimplet, J., Wheatley, M. D., Schlauch, K. A., Mérillon, J.-M., Cushman, J. C., & Cramer, G. R. (2009). Water deficit alters differentially metabolic pathways affecting important flavor and quality traits in grape berries of Cabernet Sauvignon and Chardonnay. *BMC Genomics*, 10(1), 212. DOI: 10.1186/1471-2164-10-212
- des Gachons, C. P., van Leeuwen, C., Tominaga, T., Soyer, J.-P., Gaudillère, J.-P., & Dubourdiou, D. (2005). Influence of water and nitrogen deficit on fruit ripening and aroma potential of *Vitis vinifera* L cv Sauvignon blanc in field conditions: Influence of water and nitrogen deficit on grape aroma potential. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 85(1), 73-85. DOI: 10.1002/jsfa.1919
- Di Castri, F., Goodall, D.W., & Specht, R.L. (1981). *Ecosystems of the world 11. Mediterranean-type shrub lands*. Editorial: Elsevier, Amsterdam. ISBN 10: 044441858X
- Di Giacinto, S., Friedel, M., Poll, C., Döring, J., Kunz, R., & Kauer, R. (2020). Vineyard management system affects soil microbiological properties. *OENO One*, 54(1), 131-143. DOI: 10.20870/oeno-one.2020.54.1.2578

- Dimopoulos, N., Tindjau, R., Wong, D. C. J., Matzat, T., Haslam, T., Song, C., Gambetta, G. A., Kunst, L., & Castellarin, S. D. (2020). Drought stress modulates cuticular wax composition of the grape berry. *Journal of Experimental Botany*, 71(10), 3126-3141. DOI: 10.1093/jxb/eraa046
- DOP Yecla - La tierra de la Monastrell. (s. f.). Yeclavino.com. Recuperado 27 de junio de 2022, de <https://www.yeclavino.com/web/es/>
- Druart, N., Johansson, A., Baba, K., Schrader, J., Sjödin, A., Bhalerao, R. R., Resman, L., Trygg, J., Moritz, T., & Bhalerao, R. P. (2007). Environmental and hormonal regulation of the activity-dormancy cycle in the cambial meristem involves stage-specific modulation of transcriptional and metabolic networks: Molecular analysis of cambial activity-dormancy cycle. *The Plant Journal: For Cell and Molecular Biology*, 50(4), 557-573. DOI: 10.1111/j.1365-313X.2007.03077.x
- Dry, P.R., Coombe, B.G. (2004). *Viticulture. Volume 1—Resources*. Editorial: Winetitles, Adelaide, Australia. ISBN: 978-0-9756850-0-6
- Duchêne, E., Huard, F., Dumas, V., Schneider, C., & Merdinoglu, D. (2010). The challenge of adapting grapevine varieties to climate change. *Climate research*, 41(3), 193-204. DOI: 10.3354/cr00850
- Duchêne, E., Butterlin, G., Dumas, V., & Merdinoglu, D. (2012). Towards the adaptation of grapevine varieties to climate change: QTLs and candidate genes for developmental stages. *Theoretical and Applied Genetics*, 124(4), 623-635. DOI: 10.1007/s00122-011-1734-1
- Edwards, E. J., Unwin, D., Kilmister, R., & Treeby, M. (2017). Multi-seasonal effects of warming and elevated CO<sub>2</sub> on the physiology, growth and production of mature, field grown, Shiraz grapevines. *OENO One*, 51(2), 127-132. DOI: 10.20870/oeno-one.2017.51.2.1586
- Escalona, J. M., Flexas, J., & Medrano, H. (1999). Stomatal and non-stomatal limitations of photosynthesis under water stress in field-grown grapevines. *Functional Plant Biology*, 26(5), 421. DOI: 10.1071/pp99019
- Escalona, J. M., Tomàs, M., Martorell, S., Medrano, H., Ribas-Carbo, M., & Flexas, J. (2012). Carbon balance in grapevines under different soil water supply: importance of whole plant respiration: Carbon balance in grapevine. *Australian Journal of Grape and Wine Research*, 18(3), 308-318. DOI: 10.1111/j.1755-0238.2012.00193.x
- Escalona, J. M., Fuentes, S., Tomás, M., Martorell, S., Flexas, J., & Medrano, H. (2013). Responses of leaf night transpiration to drought stress in *Vitis vinifera* L. *Agricultural Water Management*, 118, 50-58. DOI: 10.1016/j.agwat.2012.11.018
- Etchebarne, F. (2016). Leaf:Fruit ratio and vine water status effects on grenache Noir (*Vitis vinifera* L.) berry composition: Water, sugar, organic acids and cations. *South African journal of enology and viticulture*, 31(2). DOI: 10.21548/31-2-1407
- Failla, O.; Rustione, L. (2012). Phenotyping trial 2012. Protocols for phenotyping berry enological traits. COST Action FA1003 “East-West Collaboration for Grapevine Diversity Exploration and Mobilization of Adaptive Traits for Breeding”

- FAO. (2000). *Faostat: FAO Statistical Databases*. Food & Agriculture Organization of the United Nations (FAO). Recuperado 27 de junio de 2022, de <http://faostat.fao.org/>
- Fereres, E., & Soriano, M. A. (2007). Deficit irrigation for reducing agricultural water use. *Journal of experimental botany*, 58(2), 147-159. DOI: 10.1093/jxb/erl165
- Ferguson, J. C., Moyer, M. M., Mills, L. J., Hoogenboom, G., & Keller, M. (2014). Modeling dormant bud cold hardiness and budbreak in twenty-three Vitis genotypes reveals variation by region of origin. *American Journal of Enology and Viticulture*, 65(1), 59-71. DOI: 10.5344/ajev.2013.13098
- Fernández-Fernández, J.I., Gil Muñoz, R., Bleda Sánchez, J.A., Martínez-Mora, C., Corredor Cano, J., Cebrián Pérez, A., Martínez Balsas, D., Gómez Martínez, J.C., Martínez Jiménez, J.A., García Pérez, G., Palencia Sigüenza, S., Carcelén Cutillas, J.C., García Martínez, J., Fernández García, S., Fuentes-Denia, A., Hita Gambín, I., Salmerón Gómez, E., Padilla, C.V., Martínez Cutillas, A., & Ruiz-García, L. (2020a). Selección final de cruces de Monastrell por su composición fenólica. Años 1997 a 2017. 34ª Reunión del Grupo de Trabajo de Experimentación en Viticultura y Enología. Edit: MAPA. NIPO 003200229. Depósito legal M-5822-2020. pp: 131-138.
- Fernández-Fernández, J.I., Gil-Muñoz, R., Bleda-Sánchez, J.A., Corredor-Cano, J., Moreno-Olivares, J.D., Cebrián-Pérez, A., Martínez-Balsas, D., Gómez-Martínez, J.C., Palencia-Sigüenza, M.S., Carcelén-Cutillas, J.C., Giménez-Bañón, M.J., García-Pérez, M.G., Paladines-Quezada, D.F., Fernández-García, S., Martínez-Mora, C., Fuentes-Denia, A.M., Hita-Gambín, I., Salmerón-Gómez, E., Padilla-Martínez, C.V., Fernández-López, D.J., Lucas-Miñano, S., Yepes-Hita, A., Martínez-Jiménez, J.A., Martínez-Cutillas, A., & Ruiz-García, L. (2020b). Nuevas variedades procedentes de Monastrell adaptadas a clima cálido. Cosechas 2016-2019. *Revista enólogos*, 126: 78-88.
- Fernández-López, D. J., Fernández-Fernández, J. I., Martínez-Mora, C., Bleda-Sánchez, J. A., & Ruiz-García, L. (2022). Productiveness and berry quality of new wine grape genotypes grown under drought conditions in a semi-arid wine-producing Mediterranean region. *Plants*, 11(10), 1363. DOI: 10.3390/plants11101363
- Flexas, J., Escalona, J. M., & Medrano, H. (1998). Down-regulation of photosynthesis by drought under field conditions in grapevine leaves. *Functional Plant Biology*, 25(8), 893. DOI: 10.1071/pp98054
- Flexas, J., & Medrano, H. (2002). Drought-inhibition of photosynthesis in C3 plants: stomatal and non-stomatal limitations revisited. *Annals of Botany*, 89(2), 183-189. DOI: 10.1093/aob/mcf027
- Flexas, J., Bota, J., Escalona, J. M., Sampol, B., & Medrano, H. (2002). Effects of drought on photosynthesis in grapevines under field conditions: an evaluation of stomatal and mesophyll limitations. *Functional Plant Biology*, 29(4), 461-471. DOI: 10.1071/PP01119
- Flexas, J., Bota, J., Cifre, J., Escalona, J. M., Galmes, J., Gulias, J., Lefi, E.-K., Florinda Martinez-Canellas, S., Teresa Moreno, M., Ribas-Carbo, M., Riera, D., Sampol, B., & Medrano, H. (2004). Understanding down-regulation of photosynthesis under water stress: future



- prospects and searching for physiological tools for irrigation management. *The Annals of Applied Biology*, 144(3), 273-283. DOI: 10.1111/j.1744-7348.2004.tb00343.x
- Flexas, J., Galmés, J., Gallé, A., Gulías, J., Pou, A., Ribas-Carbo, M., Tomás, M., & Medrano, H. (2010). Improving water use efficiency in grapevines: potential physiological targets for biotechnological improvement. *Australian Journal of Grape and Wine Research*, 16, 106-121. DOI: 10.1111/j.1755-0238.2009.00057.x
- Forni, G. (2006). Dall'origine della viticoltura alla sua introduzione in Italia. En: *La vite e l'uomo*, Del Zan, F., Failla, O., & Scienza, A. (eds.). Editorial: Ersa, Gorizia.
- Fracheboud, Y., Luquez, V., Bjorken, L., Sjodin, A., Tuominen, H., & Jansson, S. (2009). The control of autumn senescence in European aspen. *Plant physiology*, 149(4), 1982-1991. DOI: 10.1104/pp.108.133249
- Fraga, H., Malheiro, A. C., Moutinho-Pereira, J., & Santos, J. A. (2012). An overview of climate change impacts on European viticulture. *Food and Energy Security*, 1(2), 94-110. DOI: 10.1002/fes3.14
- Fraga, H., Malheiro, A. C., Moutinho-Pereira, J., & Santos, J. A. (2013). Future scenarios for viticultural zoning in Europe: ensemble projections and uncertainties. *International Journal of Biometeorology*, 57(6), 909-925. DOI: 10.1007/s00484-012-0617-8
- Fraga, H., Costa, R., Moutinho-Pereira, J., Correia, C. M., Dinis, L.-T., Gonçalves, I., Silvestre, J., Eiras-Dias, J., Malheiro, A. C., & Santos, J. A. (2015). Modeling phenology, water status, and yield components of three Portuguese grapevines using the STICS crop model. *American Journal of Enology and Viticulture*, 66(4), 482-491. DOI: 10.5344/ajev.2015.15031
- Fraga, H., García de Cortázar Atauri, I., Malheiro, A. C., & Santos, J. A. (2016a). Modelling climate change impacts on viticultural yield, phenology and stress conditions in Europe. *Global Change Biology*, 22(11), 3774-3788. DOI: 10.1111/gcb.13382
- Fraga, H., Santos, J. A., Malheiro, A. C., Oliveira, A. A., Moutinho-Pereira, J., & Jones, G. V. (2016b). Climatic suitability of Portuguese grapevine varieties and climate change adaptation. *International Journal of Climatology: A Journal of the Royal Meteorological Society*, 36(1), 1-12. DOI: 10.1002/joc.4325
- Fraga, H., de Cortázar Atauri, I. G., & Santos, J. A. (2018). Viticultural irrigation demands under climate change scenarios in Portugal. *Agricultural water management*, 196, 66-74. DOI: 10.1016/j.agwat.2017.10.023
- Gabrielyan, A., & Kazumyan, K. (2018). The investigation of phenolic compounds and anthocyanins of wines made of the grape variety karmrahyut. *Annals of Agrarian science*, 16(2), 160-162. DOI: 10.1016/j.aasci.2018.03.005
- Galet, P. (2000). *General Viticulture*. Editorial: Oenoplurimedia, Chaintre, France. ISBN 10: 2905428139
- Gambetta, G. A., Herrera, J. C., Dayer, S., Feng, Q., Hochberg, U., & Castellarin, S. D. (2020). The physiology of drought stress in grapevine: towards an integrative definition of drought tolerance. *Journal of Experimental Botany*, 71(18), 5717. DOI: 10.1093/jxb/eraa313

- Gamero, E., Moreno, D., Talaverano, I., Prieto, M. H., Guerra, M. T., & Valdés, M. E. (2014). Effects of irrigation and cluster thinning on Tempranillo grape and wine composition. *South African Journal of Enology and Viticulture*, 35(2), 196-204.
- García-Barceló, J. (1990). *Técnicas analíticas para vinos*. Editorial: GAB Sistemática Analítica, Sant Jordi, Barcelona. ISBN: 84-404-7827-5
- García-Esparza, M. J., Abrisqueta, I., Escriche, I., Intrigliolo, D. S., Álvarez, I., & Lizama, V. (2018). Volatile compounds and phenolic composition of skins and seeds of Cabernet Sauvignon grapes under different deficit irrigation regimes. *Vitis*, 57(3), 83-91. DOI: 10.5073/vitis.2018.57.83-91
- García-García, J., Martínez-Cutillas, A., & Romero, P. (2012). Financial analysis of wine grape production using regulated deficit irrigation and partial-root zone drying strategies. *Irrigation Science*, 30(3), 179-188. DOI: 10.1007/s00271-011-0274-4
- García-García, J., & García-García, B. (2018). Aspectos socioeconómicos y ambientales del cultivo de la uva Monastrell. En: *El Libro de la Monastrell*, Riquelme, F., & Martínez-Cutillas, A. (eds.). Editorial: Consejería de Agua, Agricultura, Ganadería y Pesca, pp. 71-87 ISBN: 978-84-09-06249-2
- Gatti, M., Civardi, S., Ferrari, F., Fernandes, N., van Zeller de Macedo Basto Gon, M. I., & Bavaresco, L. (2010). Viticultural performances of different cabernet sauvignon clones. En: *X International Conference on Grapevine Breeding and Genetics*, 1046, 659-664.
- Gaudillère, J.-P., van Leeuwen, C., & Ollat, N. (2002). Carbon isotope composition of sugars in grapevine, an integrated indicator of vineyard water status. *Journal of Experimental Botany*, 53(369), 757-763. DOI: 10.1093/jexbot/53.369.757
- Gerrath, J. M. (1993). Developmental morphology and anatomy of grape flowers. *Horticultural reviews*, 13, 315-337.
- Gil-Muñoz, R., Moreno-Olivares, J. D., Paladines-Quezada, D. F., Bleda-Sánchez, J. A., Cebrián-Pérez, A., Giménez-Bañón, M. J., & Fernández-Fernández J. I. (2021). Characterization of anthocyanins from intraspecific crosses of Monastrell with other premium varieties. *Frontiers in Nutrition*, 8:664515. DOI: 10.3389/fnut.2021.664515
- Gillaspy, G., Ben-David, H., & Gruissem, W. (1993). Fruits: a developmental perspective. *The Plant Cell*, 5(10), 1439.
- Girona, J., Mata, M., del Campo, J., Arbonés, A., Bartra, E., & Marsal, J. (2006). The use of midday leaf water potential for scheduling deficit irrigation in vineyards. *Irrigation Science*, 24(2), 115-127. DOI: 10.1007/s00271-005-0015-7
- Girona, J., Marsal, J., Mata, M., del Campo, J., & Basile, B. (2009). Phenological sensitivity of berry growth and composition of Tempranillo grapevines (*Vitis vinifera* L.) to water stress. *Australian Journal of Grape and Wine Research*, 15(3), 268-277. DOI: 10.1111/j.1755-0238.2009.00059.x

- Goode, J. E., & Higgs, K. (1973). Water, osmotic and pressure potential relationships in apple leaves. *The Journal of Horticultural Science*, 48(2), 203-215. DOI: 10.1080/00221589.1973.11514522
- Greenspan, M. D., Shackel, K. A., & Matthews, M. A. (1994). Developmental changes in the diurnal water budget of the grape berry exposed to water deficits. *Plant, Cell & Environment*, 17(7), 811-820. DOI: 10.1111/j.1365-3040.1994.tb00175.x
- Guilpart, N., Metay, A., & Gary, C. (2014). Grapevine bud fertility and number of berries per bunch are determined by water and nitrogen stress around flowering in the previous year. *European journal of agronomy: the journal of the European Society for Agronomy*, 54, 9-20. DOI: 10.1016/j.eja.2013.11.002
- Guiot, J., & Cramer, W. (2016). Climate change: The 2015 Paris Agreement thresholds and Mediterranean basin ecosystems. *Science*, 354(6311), 465-468. DOI: 10.1126/science.aah5015.
- Gutierrez, L., Van Wuytswinkel, O., Castelain, M., & Bellini, C. (2007). Combined networks regulating seed maturation. *Trends in Plant Science*, 12(7), 294-300. DOI: 10.1016/j.tplants.2007.06.003
- Gutiérrez-Gamboa, G., Zheng, W., & Martínez de Toda, F. (2021). Current viticultural techniques to mitigate the effects of global warming on grape and wine quality: A comprehensive review. *Food Research International*, 139(109946), 109946. DOI: 10.1016/j.foodres.2020.109946
- Hall, A., Mathews, A. J., & Holzapfel, B. P. (2016). Potential effect of atmospheric warming on grapevine phenology and post-harvest heat accumulation across a range of climates. *International Journal of Biometeorology*, 60(9), 1405-1422. DOI: 10.1007/s00484-016-1133-z
- Hardie, W.J., & Considine, J.A. (1976). Response of grapes to water-deficit stress in particular stages of development. *American Journal of Enology and Viticulture*. 27, 55–61.
- Hardie, W. J. (2000). Grapevine biology and adaptation to viticulture. *Australian Journal of Grape and Wine Research*, 6(2), 74-81. DOI: 10.1111/j.1755-0238.2000.tb00165.x
- Hendgen, M., Hoppe, B., Döring, J., Friedel, M., Kauer, R., Frisch, M., Dahl, A., & Kellner, H. (2018). Effects of different management regimes on microbial biodiversity in vineyard soils. *Scientific reports*, 8(1), 1-13. DOI: 10.1038/s41598-018-27743-0
- Herrera, J. C., Bucchetti, B., Sabbatini, P., Comuzzo, P., Zulini, L., Vecchione, A., Peterlunger, E., & Castellarin, S. D. (2015). Effect of water deficit and severe shoot trimming on the composition of *Vitis vinifera* L. Merlot grapes and wines. *Australian Journal of Grape and Wine Research*, 21(2), 254-265. DOI: 10.1111/ajgw.12143
- Herrera, J. C., & Castellarin, S. D. (2016). Preveraison water deficit accelerates berry color change in Merlot grapevines. *American journal of enology and viticulture*, 67(3), 356-360. DOI: 10.5344/ajev.2016.15083
- Herrera, Jose C., Hochberg, U., Degu, A., Sabbatini, P., Lazarovitch, N., Castellarin, S. D., Fait, A., Alberti, G., & Peterlunger, E. (2017). Grape metabolic response to postveraison water

- deficit is affected by interseason weather variability. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 65(29), 5868-5878. DOI: 10.1021/acs.jafc.7b01466
- Hetherington, A. M., & Woodward, F. I. (2003). The role of stomata in sensing and driving environmental change. *Nature*, 424(6951), 901-908. DOI: 10.1038/nature01843
- Hidalgo, L. (2002). *Tratado de viticultura general*. 3º ed. Editorial: Mundi-Prensa Libros, Madrid, España. ISBN: 9788484760689
- Hochberg, U., Degu, A., Fait, A., & Rachmilevitch, S. (2013). Near isohydric grapevine cultivar displays higher photosynthetic efficiency and photorespiration rates under drought stress as compared with near anisohydric grapevine cultivar. *Physiologia Plantarum*, 147(4), 443-452. DOI: 10.1111/j.1399-3054.2012.01671.x
- Hochberg, U., Degu, A., Cramer, G. R., Rachmilevitch, S., & Fait, A. (2015). Cultivar specific metabolic changes in grapevines berry skins in relation to deficit irrigation and hydraulic behavior. *Plant Physiology and Biochemistry*, 88, 42-52. DOI: 10.1016/j.plaphy.2015.01.006
- Hochberg, U., Herrera, J. C., Degu, A., Castellarin, S. D., Peterlunger, E., Alberti, G., & Lazarovitch, N. (2017). Evaporative demand determines the relative transpirational sensitivity of deficit-irrigated grapevines. *Irrigation Science*, 35(1), 1-9. DOI: 10.1007/s00271-016-0518-4.
- Horvath, D. P., Anderson, J. V., Chao, W. S., & Foley, M. E. (2003). Knowing when to grow: signals regulating bud dormancy. *Trends in plant science*, 8(11), 534-540. DOI: 10.1016/j.tplants.2003.09.013
- Howell, G. S. (2001). Sustainable grape productivity and the growth-yield relationship: A review. *American Journal of Enology and Viticulture*, 52(3), 165-174.
- Huglin, P., & Balthazard, J. (1975). Variabilité et fluctuation de la composition des inflorescences et des grappes chez quelques variétés de *Vitis vinifera*. *Vitis*, 14, 6-13
- Huglin, P., & Schneider, C. (1998). *Biologie et Ecologie de la Vigne*, 2ª ed. Editorial: Tec & Doc Lavoisier, Paris. ISBN: 978-2743002602
- Hutmacher, R. B., & Krieg, D. R. (1983). Photosynthetic rate control in cotton: stomatal and nonstomatal factors: Stomatal and nonstomatal factors. *Plant Physiology*, 73(3), 658-661. DOI: 10.1104/pp.73.3.658
- Ibáñez, J., Carreño, J., Yuste, J., & Martínez-Zapater, J. M. (2015). Grapevine breeding and clonal selection programmes in Spain. En: *Grapevine Breeding Programs for the Wine Industry*; Reynolds, A. (eds). Editorial: Elsevier, pp. 183-209. DOI: 10.1016/B978-1-78242-075-0.00009-0
- Iglesias, A., & Garrote, L. (2015). Adaptation strategies for agricultural water management under climate change in Europe. *Agricultural water management*, 155, 113-124. DOI: 10.1016/j.agwat.2015.03.014

- Iland, P. G., & Coombe, B. G. (1988). Malate, tartrate, potassium, and sodium in flesh and skin of Shiraz grapes during ripening: concentration and compartmentation. *American Journal of Enology and Viticulture*, 39(1), 71-76.
- Intrigliolo, D. S., & Castel, J. R. (2006). Performance of various water stress indicators for prediction of fruit size response to deficit irrigation in plum. *Agricultural Water Management*, 83(1-2), 173-180. DOI: 10.1016/j.agwat.2005.12.005
- Intrigliolo, D. S., & Castel, J. R. (2009). Response of grapevine cv. 'Tempranillo' to timing and amount of irrigation: water relations, vine growth, yield and berry and wine composition. *Irrigation Science*, 28(2), 113-125. DOI: 10.1007/s00271-009-0164-1
- 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. *Irrigation Science*, 30(5), 339-349. DOI: 10.1007/s00271-012-0354-0
- Intrigliolo, D. S., Lizama, V., García-Esparza, M. J., Abrisqueta, I., & Álvarez, I. (2016). Effects of post-veraison irrigation regime on Cabernet Sauvignon grapevines in Valencia, Spain: Yield and grape composition. *Agricultural Water Management*, 170, 110-119. DOI: 10.1016/j.agwat.2015.10.020
- IPCC. Climate Change 2014: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change; Pachauri, R.K., Meyer, L.A., Eds.; IPCC: Geneva, Switzerland 2014, pp. 151.
- IPCC. Climate Change and Land: An IPCC Special Report on Climate Change, Desertification, Land Degradation, Sustainable Land Management, Food Security, and Greenhouse Gas Fluxes in Terrestrial Ecosystems; Shukla, P.R., Skea, J., Calvo Buendia, E., Masson-Delmotte, V., Pörtner, H.-O., Roberts, D.C., Zhai, P., Slade, R., Connors, S., van Diemen, R., et al., Eds.; 2019; p. 205, in press.
- Ivanova, V., Vojnoski, B. & Stefova, M. (2012). Effect of winemaking treatment and wine aging on phenolic content in Vranec wines. *Journal of Food Science and Technology*, 49, 161-172. DOI: 10.1007/s13197-011-0279-2
- Jackson, D. I. (1991). Environmental and hormonal effects on development of early bunch stem necrosis. *American Journal of Enology and Viticulture*, 42(4), 290-294.
- Jackson, D. I., & Lombard, P. B. (1993). Environmental and management practices affecting grape composition and wine quality-a review. *American journal of enology and viticulture*, 44(4), 409-430.
- Jackson, R. S. (2008). *Wine science: principles and applications*, 3<sup>a</sup> ed.; Editorial: Elsevier: Amsterdam, The Netherlands. ISBN: 9780080568744
- Jensen, J. S., Demiray, S., Egebo, M., & Meyer, A. S. (2008). Prediction of wine color attributes from the phenolic profiles of red grapes (*Vitis vinifera*). *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 56(3), 1105-1115. DOI: 10.1021/jf072541e

- Jiménez-Cantizano, A., Sancho-Galán, P., Barbero, G. F., Palacios, V., & Amores-Arrocha, A. (2021). Analysis of compounds with oenological interest in somatic variants of grapevines. *Horticulturae*, 8(1), 22. DOI: 10.3390/horticulturae8010022
- Jones, G. V., & Davis, R. E. (2000). Climate influences on grapevine phenology, grape composition, and wine production and quality for Bordeaux, France. *American journal of enology and viticulture*, 51(3), 249-261.
- Jones, G. V., White, M. A., Cooper, O. R., & Storchmann, K. (2005). Climate change and global wine quality. *Climatic Change*, 73(3), 319-343. DOI: 10.1007/s10584-005-4704-2
- Jones, G. (2007). Climate Change and the Global Wine Industry. En: Proceedings of the 13th Annual Australian Wine Industry Technical Conference, Adelaide, Australia, 28 July–2 August.
- Ju, Y.-L., Yang, B.-H., He, S., Tu, T.-Y., Min, Z., Fang, Y.-L., & Sun, X.-Y. (2019). Anthocyanin accumulation and biosynthesis are modulated by regulated deficit irrigation in Cabernet Sauvignon (*Vitis Vinifera* L.) grapes and wines. *Plant Physiology and Biochemistry*, 135, 469-479. DOI: 10.1016/j.plaphy.2018.11.013
- Junquera, P., Lissarrague, J. R., Jiménez, L., Linares, R., & Baeza, P. (2012). Long-term effects of different irrigation strategies on yield components, vine vigour, and grape composition in cv. Cabernet-Sauvignon (*Vitis vinifera* L.). *Irrigation Science*, 30(5), 351-361. DOI: 10.1007/s00271-012-0348-y
- Keller, M., Kummer, M., & Vasconcelos, M. C. (2001). Reproductive growth of grapevines in response to nitrogen supply and rootstock. *Australian journal of grape and wine research*, 7(1), 12-18. DOI: 10.1111/j.1755-0238.2001.tb00188.x
- Keller, M. (2010). Managing grapevines to optimise fruit development in a challenging environment: a climate change primer for viticulturists. *Australian Journal of Grape and Wine Research*, 16, 56-69. DOI: 10.1111/j.1755-0238.2009.00077.x
- Keller, M., Romero, P., Gohil, H., Smithyman, R. P., Riley, W. R., Casassa, L. F., & Harbertson, J. F. (2016). Deficit irrigation alters grapevine growth, physiology, and fruit microclimate. *American Journal of Enology and Viticulture*, 67(4), 426-435. DOI: 10.5344/ajev.2016.16032
- Keller, M., & Molitor, D. (2017). Yield of Müller-Thurgau and Riesling grapevines is altered by meteorological conditions in the current and previous growing seasons. *OENO One*, 50(4). DOI: 10.20870/oeno-one.2016.50.4.1071
- Keller, M. (2020). *The Science of Grapevines*, 3<sup>a</sup> ed., Keller, M. (eds). Editorial: Academic Press. DOI: 10.1016/B978-0-12-816365-8.00001
- Kennedy, J. A., Matthews, M. A., & Waterhouse, A. L. (2002). Effect of maturity and vine water status on grape skin and wine flavonoids. *American Journal of Enology and Viticulture*, 53(4), 268.
- Kennedy, J. A., Saucier, C., & Glories, Y. (2006). Grape and wine phenolics: History and perspective. *American Journal of Enology and Viticulture*, 57(3), 239-248.

- Kirschbaum, M. U., & Pearcy, R. W. (1988). Gas exchange analysis of the fast phase of photosynthetic induction in *Alocasia macrorrhiza*. *Plant Physiology*, 87(4), 818-821. DOI: 10.1104/pp.87.4.818
- Klepper, B. (1968). Diurnal pattern of water potential in woody plants. *Plant Physiology*, 43(12), 1931-1934. DOI: 10.1104/pp.43.12.1931
- Klepper, B., Browning, V. D., & Taylor, H. M. (1971). Stem diameter in relation to plant water status. *Plant Physiology*, 48(6), 683-685. DOI: 10.1104/pp.48.6.683
- Kliewer, W. M., & Soleimani, A. (1972). Effect of Chilling on Budbreak in Thompson Seedless' and Carignane' Grapevines. *American Journal of Enology and Viticulture*, 23(1), 31-34.
- Kliewer, W. M., Freeman, B. M., & Hosson, C. (1983). Effect of irrigation, crop level and potassium fertilization on Carignane vines. I. Degree of water stress and effect on growth and yield. *American Journal of Enology and Viticulture*, 34(3), 186-196.
- Koundouras, S., Tsiatas, I. T., Zioziou, E., & Nikolaou, N. (2008). Rootstock effects on the adaptive strategies of grapevine (*Vitis vinifera* L. cv. Cabernet-Sauvignon) under contrasting water status: leaf physiological and structural responses. *Agriculture, ecosystems & environment*, 128(1-2), 86-96. DOI: 10.1016/j.agee.2008.05.006
- Koundouras, S., Hatzidimitriou, E., Karamolegkou, M., Dimopoulou, E., Kallithraka, S., Tsiatas, J. T., Zioziou, E., Nikolaou, N., & Kotseridis, Y. (2009). Irrigation and rootstock effects on the phenolic concentration and aroma potential of *Vitis vinifera* L. cv. cabernet sauvignon grapes. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 57(17), 7805-7813. DOI: 10.1021/jf901063a
- Kramer P.J. (1983). *Water Relations of Plants*. Academic Press. ISBN: 978-0-12-425040-6. DOI: 10.1016/C2012-0-01578-5
- Kramer, P.J., & Boyer, J.S. (1995). *Water Relations of Plants and Soils*. Academic Press, San Diego, CA.
- Kriedemann, P. E., & Smart, R. E. (1971). Effects of irradiance, temperature, and leaf water potential on photosynthesis of vine leaves. *Photosynthetica*, 5, 6-15.
- Kriedemann, P. E., & Goodwin, I. (2003). Deficit irrigation and partial root zone drying. An overview of principles and applications. Irrigation insights no. 4. Land and Water Australia, 101.
- Kurtural, S. K., Wessner, L. F., & Dervishian, G. (2013). Vegetative Compensation Response of a Procumbent Grapevine (*Vitis vinifera* cv. Syrah) Cultivar under Mechanical Canopy Management. *HortScience: a publication of the American Society for Horticultural Science*, 48(5), 576-583. DOI: 10.21273/hortsci.48.5.576
- Lang, G. A., Early, J. D., Martin, G. C., & Darnell, R. L. (1987). Endo-, para-, and eco-dormancy: physiological terminology and classification for dormancy research. *HortScience* 22, 371-377.

- Larcher, W. (2003). *Physiological plant ecology: ecophysiology and stress physiology of functional groups*. Springer Science & Business Media.
- Lavoie-Lamoureux, A., Sacco, D., Risse, P.-A., & Lovisolo, C. (2017). Factors influencing stomatal conductance in response to water availability in grapevine: a meta-analysis. *Physiologia Plantarum*, 159(4), 468-482. DOI: 10.1111/ppl.12530
- Levin, A. D., Williams, L. E., & Matthews, M. A. (2019). A continuum of stomatal responses to water deficits among 17 wine grape cultivars (*Vitis vinifera*). *Functional Plant Biology*, 47(1), 11-25. DOI: 10.1071/FP19073
- Levin, A. D., Matthews, M. A., & Williams, L. E. (2020). Effect of preveraison water deficits on the yield components of 15 winegrape cultivars. *American Journal of Enology and Viticulture*, 71(3), 208-221. DOI: 10.5344/ajev.2020.19073
- Lizama, V., Pérez-Álvarez, E. P., Intrigliolo, D. S., Chirivella, C., Álvarez, I., & García-Esparza, M. J. (2021). Effects of the irrigation regimes on grapevine cv. Bobal in a Mediterranean climate: II. Wine, skins, seeds, and grape aromatic composition. *Agricultural Water Management*, 256, 107078. DOI: 10.1016/j.agwat.2021.107078
- Lopes, C. M., Santos, T. P., Monteiro, A., Rodrigues, M. L., Costa, J. M., & Chaves, M. M. (2011). Combining cover cropping with deficit irrigation in a Mediterranean low vigor vineyard. *Scientia Horticulturae*, 129(4), 603-612. DOI: 10.1016/j.scienta.2011.04.033
- López-Urrea, R., Sánchez, J. M., Montoro, A., Mañas, F., & Intrigliolo, D. S. (2020). Effect of using pruning waste as an organic mulching on a drip-irrigated vineyard evapotranspiration under a semi-arid climate. *Agricultural and Forest Meteorology*, 291(108064), 108064. DOI: 10.1016/j.agrformet.2020.108064
- Lorenz, D. H., Eichhorn, K. W., Bleiholder, H., Klose, R., Meier, U., & Weber, E. (1994). Phänologische Entwicklungsstadien der Weinrebe (*Vitis vinifera* L. ssp. *vinifera*). *Codierung und Beschreibung nach der erweiterten BBCH-Skala*. *Wein-Wissenschaft*, 49(2), 66-70.
- Lovisolo, C., Perrone, I., Carra, A., Ferrandino, A., Flexas, J., Medrano, H., & Schubert, A. (2010). Drought-induced changes in development and function of grapevine (*Vitis* spp.) organs and in their hydraulic and non-hydraulic interactions at the whole-plant level: a physiological and molecular update. *Functional Plant Biology*, 37(2), 98. DOI: 10.1071/fp09191
- Ma, X., Sanguinet, K. A., & Jacoby, P. W. (2020). Direct root-zone irrigation outperforms surface drip irrigation for grape yield and crop water use efficiency while restricting root growth. *Agricultural Water Management*, 231, 105993. DOI: 10.1016/j.agwat.2019.105993
- Magalhães, N. (2008). *Tratado de viticultura: a videira, a vinha eo terroir*, 1ª ed.; Editorial: Chaves Ferreira. Lisboa, Portugal. ISBN: 9789728987152
- Mancha, L. A., Uriarte, D., Valdés, E., Moreno, D., & Prieto, M. del H. (2020). Effects of regulated deficit irrigation and early cluster thinning on production and quality parameters in a vineyard cv. Tempranillo under semi-arid conditions in southwestern Spain. *Agronomy*, 11(1), 34. DOI: 10.3390/agronomy11010034



- Mangalassery, S., Sjögersten, S., Sparkes, D. L., Sturrock, C. J., Craigon, J., & Mooney, S. J. (2014). To what extent can zero tillage lead to a reduction in greenhouse gas emissions from temperate soils? *Scientific Reports*, 4(1), 4586. DOI: 10.1038/srep04586
- Mangalassery, S., Mooney, S. J., Sparkes, D. L., Fraser, W. T., & Sjögersten, S. (2015). Impacts of zero tillage on soil enzyme activities, microbial characteristics and organic matter functional chemistry in temperate soils. *European journal of soil biology*, 68, 9-17. DOI: 10.1016/j.ejsobi.2015.03.001
- MAPAMA. (2020). Ministerio de Agricultura y Pesca, Alimentación y Medio Ambiente de España. Superficies y producciones anuales de cultivos. Recuperado 27 de junio de 2022, de <https://www.mapa.gob.es/es/estadistica/temas/estadisticas-agrarias/agricultura/superficies-producciones-anuales-cultivos/>
- Marques, M. J., Ruiz-Colmenero, M., Bienes, R., García-Díaz, A., & Sastre, B. (2020). Effects of a permanent soil cover on water dynamics and wine characteristics in a steep vineyard in the central Spain. *Air Soil and Water Research*, 13, 117862212094806. DOI: 10.1177/1178622120948069
- Martínez-Cutillas, A. (2003). Influencia del material vegetal y de las técnicas de elaboración sobre la calidad de los vinos de Murcia. Informe de INIA. Unidad de I+D de Producciones Extensivas. 7pp.
- Martínez-Cutillas, A., Ruiz-García, L., & Fernández-Fernández, J.I. (2018). Material vegetal de Monastrell. En: *El Libro de la Monastrell*; Riquelme, F., & Martínez-Cutillas, A. (eds.). Editorial: Consejería de Agua, Agricultura, Ganadería y Pesca, pp. 45-68 ISBN: 978-84-09-06249-2
- Martínez-Lüscher, J., Kizildeniz, T., Vučetić, V., Dai, Z., Luedeling, E., van Leeuwen, C., Gomès, E., Pascual, I., Irigoyen, J. J., Morales, F., & Delrot, S. (2016). Sensitivity of grapevine phenology to water availability, temperature and CO<sub>2</sub> concentration. *Frontiers in environmental science*, 4. DOI: 10.3389/fenvs.2016.00048
- Martínez-Moreno, A., Pérez-Álvarez, E. P., Intrigliolo, D. S., Mirás-Avalos, J. M., López-Urrea, R., Gil-Muñoz, R., Lizama, V., García-Esparza, M. J., Álvarez, M. I., & Buesa, I. (2022). Effects of deficit irrigation with saline water on yield and grape composition of *Vitis vinifera* L. cv. Monastrell. *Irrigation Science*. DOI: 10.1007/s00271-022-00795-x
- Martorell, S., Medrano, H., Tomàs, M., Escalona, J. M., Flexas, J., & Diaz-Espejo, A. (2015). Plasticity of vulnerability to leaf hydraulic dysfunction during acclimation to drought in grapevines: an osmotic-mediated process. *Physiologia Plantarum*, 153(3), 381-391. DOI: 10.1111/ppl.12253
- Mason, M. G., Ross, J. J., Babst, B. A., Wienclaw, B. N., & Beveridge, C. A. (2014). Sugar demand, not auxin, is the initial regulator of apical dominance. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 111(16), 6092-6097. DOI: 10.1073/pnas.1322045111
- Matthews, M. A., Cheng, G., & Weinbaum, S. A. (1987). Changes in water potential and dermal extensibility during grape berry development. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, 112(2), 314-319.

- May, P. (2004). Flowering and Fruitset in Grapevines. Lythrum Press, Adelaide, Australia.
- Mccarthy, M. G. (1997). The effect of transient water deficit on berry development of cv. Shiraz (*Vitis vinifera* L.). *Australian Journal of Grape and Wine Research*, 3(3), 2-8. DOI: 10.1111/j.1755-0238.1997.tb00128.x
- McCutchan, H., & Shackel, K. A. (1992). Stem-water Potential as a Sensitive Indicator of Water Stress in Prune Trees (*Prunus domestica* L. cv. French). *Journal of the American Society for Horticultural Science*. *American Society for Horticultural Science*, 117(4), 607-611. DOI: 10.21273/jashs.117.4.607
- McGovern, P. E., Glusker, D. L., Exner, L. J., & Voigt, M. M. (1996). Neolithic resinated wine. *Nature*, 381(6582), 480-481. DOI: 10.1038/381480a0
- McGovern, P., Jalabadze, M., Batiuk, S., Callahan, M. P., Smith, K. E., Hall, G. R., Kvavadze, E., Maghradze, D., Rusishvili, N., Bouby, L., Failla, O., Cola, G., Mariani, L., Boaretto, E., Bacilieri, R., This, P., Wales, N., & Lordkipanidze, D. (2017). Early neolithic wine of Georgia in the South Caucasus. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 114(48), E10309–E10318. DOI: 10.1073/pnas.1714728114
- 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. *Annals of Botany*, 89 Spec No, 895-905. DOI: 10.1093/aob/mcf079
- Medrano, H., Escalona, J. M., Cifre, J., Bota, J., & Flexas, J. (2003). A ten-year study on the physiology of two Spanish grapevine cultivars under field conditions: effects of water availability from leaf photosynthesis to grape yield and quality. *Functional Plant Biology*, 30(6), 607-619. DOI: 10.1071/FP02110
- Medrano, H., Escalona, J. M., & Flexas, J. (2007). Indicadores fisiológicos para el control del estado hídrico de la vid. En: *Fundamentos, aplicación y consecuencias del riego en la vid*; Baeza, P., Lissarrague, J. R., & Sánchez, P. (eds.). Editorial: Agrícola Española, Madrid, pp. 15-34. ISBN: 9788485441860.
- Medrano, H., Flexas, J., Ribas-Carbó, M., & Gulías, J. (2010). Measuring water use efficiency in grapevines. En: *Methodologies and results in grapevine research*; Delrot, S., Medrano, H., Or, E., Bavaresco, L., & Grando, S. (eds). Editorial: Springer, Dordrecht, pp. 123-134. ISBN: 978-90-481-9283-0
- Medrano, H., Tomás, M., Martorell, S., Escalona, J. M., Pou, A., Fuentes, S., Flexas, J., & Bota, J. (2015). Improving water use efficiency of vineyards in semi-arid regions. A review. *Agronomy for Sustainable Development*, 35(2), 499-517. DOI: 10.1007/s13593-014-0280-z
- Meneghetti, S., Calò, A., & Gardiman, M. (2006). Flower Biology of Grapevine. A Review. *Flower Biology of Grapevine. A Review*, 1000-1009. DOI: 10.1400/56453
- Mira de Orduña, R. (2010). Climate change associated effects on grape and wine quality and production. *Food Research International*, 43(7), 1844-1855. DOI: 10.1016/j.foodres.2010.05.001

- Mirás-Avalos, J. M., & Intrigliolo, D. S. (2017). Grape composition under abiotic constraints: water stress and salinity. *Frontiers in Plant Science*, 8, 851. DOI: 10.3389/fpls.2017.00851
- Mirás-Avalos, J., & Araujo, E. (2021). Optimization of vineyard water management: Challenges, strategies, and perspectives. *Water*, 13(6), 746. DOI: 10.3390/w13060746
- Molina-Navarro, E., Trolle, D., Martínez-Pérez, S., Sastre-Merlín, A., & Jeppesen, E. (2014). Hydrological and water quality impact assessment of a Mediterranean limno-reservoir under climate change and land use management scenarios. *Journal of hydrology*, 509, 354-366. DOI: 10.1016/j.jhydrol.2013.11.053
- Molitor, D., Baron, N., Sauerwein, T., André, C. M., Kicherer, A., Döring, J., Stoll, M., Beyer, M., Hoffmann, L., & Evers, D. (2015). Postponing first shoot topping reduces grape cluster compactness and delays bunch rot epidemic. *American Journal of Enology and Viticulture*, 66(2), 164-176. DOI: 10.5344/ajev.2014.14052
- Montague, T., Graff, E., & Kar, S. (2020). Secondary Bud Gas Exchange, Growth, and Fruitfulness of *Vitis vinifera* L. cultivars, 'Grenache' and 'Cabernet Sauvignon' Grown on the Texas High Plains. *Viticulture Data Journal*, 2. DOI: 10.3897/vdj.2.e60430
- Morales-Castilla, I., García de Cortázar-Atauri, I., Cook, B. I., Lacombe, T., Parker, A., van Leeuwen, C., Nicholas, K. A., & Wolkovich, E. M. (2020). Diversity buffers winegrowing regions from climate change losses. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 117(6), 2864-2869. DOI: 10.1073/pnas.1906731117
- Moreno, F. (2009). Respuesta de las plantas al estrés por déficit hídrico. Una revisión. *Agronomía colombiana*, 27(2), 179-191.
- Moreno-Olivares, J.D., Giménez-Bañón, M.J., Paladines-Quezada, D.F., Gómez-Martínez, J.C., Cebrían-Pérez, A., Fernández-Fernández, J.I., Bleda-Sánchez, J.A., & Gil-Muñoz, R. (2020). Aromatic characterization of new white wine varieties made from Monastrell grapes grown in Southeastern Spain. *Molecules*, 25, 3917-3941. DOI: 10.3390/molecules25173917
- Morgan, J. M. (1984). Osmoregulation and water stress in higher plants. *Annual Review of Plant Physiology*, 35(1), 299-319. DOI: 10.1146/annurev.pp.35.060184.001503
- Mori, K., Goto-Yamamoto, N., Kitayama, M., & Hashizume, K. (2007). Loss of anthocyanins in red-wine grape under high temperature. *Journal of Experimental Botany*, 58(8), 1935-1945. DOI: 10.1093/jxb/erm055
- Morrison, J. C. (1991). Bud development in *Vitis vinifera* L. *Botanical gazette*, 152(3), 304-315.
- Morison, J. I. L., Baker, N. R., Mullineaux, P. M., & Davies, W. J. (2008). Improving water use in crop production. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London. Series B, Biological Sciences*, 363(1491), 639-658. DOI: 10.1098/rstb.2007.2175
- Mosedale, J. R., Abernethy, K. E., Smart, R. E., Wilson, R. J., & Maclean, I. M. (2016). Climate change impacts and adaptive strategies: lessons from the grapevine. *Global change biology*, 22(11), 3814-3828. DOI: 10.1111/gcb.13406

- Moutinho-Pereira, J. M., Correia, C. M., Gonçalves, B. M., Bacelar, E. A., & Torres-Pereira, J. M. (2004). Leaf gas exchange and water relations of grapevines grown in three different conditions. *Photosynthetica*, 42(1), 81-86. DOI: 10.1023/b:phot.0000040573.09614.1d
- Mullins, M.G., Bouquet, A., & Williams, L.E. (1992). *Biology of the Grapevine*. Cambridge University Press, Cambridge, UK.
- Munitz, S., Netzer, Y., & Schwartz, A. (2017). Sustained and regulated deficit irrigation of field-grown Merlot grapevines. *Australian Journal of Grape and Wine Research*, 23(1), 87-94. DOI: 10.1111/ajgw.12241
- Munitz, S., Schwartz, A., & Netzer, Y. (2020). Effect of timing of irrigation initiation on vegetative growth, physiology and yield parameters in Cabernet Sauvignon grapevines. *Australian Journal of Grape and Wine Research*, 26(3), 220-232. DOI: 10.1111/ajgw.12435
- Myers, B. J. (1988). Water stress integral—a link between short-term stress and long-term growth. *Tree Physiology*, 4(4), 315-323. DOI: 10.1093/treephys/4.4.315
- Naulleau, A., Gary, C., Prévot, L., & Hossard, L. (2021). Evaluating strategies for adaptation to climate change in grapevine production—A systematic review. *Frontiers in plant science*, 11, 607859.
- Naves-Barbiero, C. C., Franco, A. C., Bucci, S. J., & Goldstein, G. (2000). Fluxo de seiva e condutância estomática de duas espécies lenhosas sempre-verdes no campo sujo e cerrado. *Revista brasileira de fisiologia vegetal*, 12(2), 119-134. DOI: 10.1590/s0103-313120000002-00003
- Neethling, E., Barbeau, G., Bonnefoy, C., & Quénot, H. (2012). Change in climate and berry composition for grapevine varieties cultivated in the Loire Valley. *Climate Research*, 53(2), 89-101. DOI: 10.3354/cr01094
- Neethling, E., Petitjean, T., Quénot, H., & Barbeau, G. (2017). Assessing local climate vulnerability and winegrowers' adaptive processes in the context of climate change. *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change*, 22(5), 777-803. DOI: 10.1007/s11027-015-9698-0
- Nemani, R. R., White, M. A., Cayan, D. R., Jones, G. V., Running, S. W., Coughlan, J. C., & Peterson, D. L. (2001). Asymmetric warming over coastal California and its impact on the premium wine industry. *Climate research*, 19, 25-34. DOI: 10.3354/cr019025
- Observatorio Regional del Cambio climático (ORCC). (2010). Informe sobre el Cambio Climático en la Región de Murcia. Iniciativas para una economía baja en carbono. Consejería de Agricultura y agua. 141pp. (disponible en [www.orcc.es](http://www.orcc.es)).
- OIV, 2019. Statistical Report on World Vitiviniculture. <https://www.oiv.int/public/medias/6782/oiv-2019-statistical-report-on-world-vitiviniculture.pdf>
- Ollat N., Peccoux A., Papura D., Esmenjaud D., Marguerit E., Tandonnet J.-P., Bordenave L., Cookson S., Barrieu F., Rossdeutsch L., Lecourt J., Lauvergeat V., Vivin P., Bert P.-F., & Delrot S. (2015). Rootstocks as a component of adaptation to environment. En: *Grapevine in a changing environment: a molecular and ecophysiological perspective*; Geros H., Chaves

- M., Medrano H., & Delrot S. (eds). Editorial: Wiley-Blackwell, pp. 68-108. ISBN: 9781118736050
- Ollé, D., Guiraud, J. L., Souquet, J. M., Terrier, N., Ageorges, A., Cheynier, V., & Verries, C. (2011). Effect of pre- and post-veraison water deficit on proanthocyanidin and anthocyanin accumulation during Shiraz berry development: Water stress and flavonoid biosynthesis. *Australian Journal of Grape and Wine Research*, 17(1), 90-100. DOI: 10.1111/j.1755-0238.2010.00121.x
- Pagay, V., & Collins, C. (2017). Effects of timing and intensity of elevated temperatures on reproductive development of field-grown Shiraz grapevines. *OENO One*, 51(4). DOI: 10.20870/oeno-one.2017.51.4.1066
- Parent, B., & Tardieu, F. (2012). Temperature responses of developmental processes have not been affected by breeding in different ecological areas for 17 crop species. *The New Phytologist*, 194(3), 760-774. DOI: 10.1111/j.1469-8137.2012.04086.x
- Parker, A. K., de Cortázar-Atauri, I. G., van Leeuwen, C., & Chuine, I. (2011). General phenological model to characterise the timing of flowering and veraison of *Vitis vinifera* L: Grapevine flowering and veraison model. *Australian Journal of Grape and Wine Research*, 17(2), 206-216. DOI: 10.1111/j.1755-0238.2011.00140.x
- Pattison, R. J., & Catalá, C. (2012). Evaluating auxin distribution in tomato (*Solanum lycopersicum*) through an analysis of the PIN and AUX/LAX gene families. *The Plant Journal*, 70(4), 585-598. DOI: 10.1111/j.1365-313X.2011.04895.x
- Pavlousek, P. (2011). Evaluation of drought tolerance of new grapevine rootstock hybrids. *Journal of environmental biology*, 32(5), 543.
- Pereira-Netto, A. B. (2002). Crescimento e desenvolvimento. *Fisiologia vegetal-produção e pós-colheita*. Curitiba: Champagnat, 17-42.
- Pérez, F. J., Viani, C., & Retamales, J. (2000). Bioactive gibberellins in seeded and seedless grapes: identification and changes in content during berry development. *American journal of enology and viticulture*, 51(4), 315-318.
- Pérez-Álvarez, E. P., Intrigliolo, D. S., Almajano, M. P., Rubio-Bretón, P., & Garde-Cerdán, T. (2021). Effects of water deficit irrigation on phenolic composition and antioxidant activity of Monastrell grapes under semiarid conditions. *Antioxidants (Basel, Switzerland)*, 10(8), 1301. DOI: 10.3390/antiox10081301
- Phogat, V., Cox, J. W., Mallants, D., Petrie, P. R., Oliver, D. P., & Pitt, T. R. (2020). Historical and future trends in evapotranspiration components and irrigation requirement of winegrapes. *Australian Journal of Grape and Wine Research*, 26(4), 312-324. DOI: 10.1111/ajgw.12446
- Picard, M., van Leeuwen, C., Guyon, F., Gaillard, L., de Revel, G., & Marchand, S. (2017). Vine water deficit impacts aging bouquet in fine red Bordeaux wine. *Frontiers in Chemistry*, 5, 56. DOI: 10.3389/fchem.2017.00056

- Pisciotta, A., Di Lorenzo, R., Santalucia, G., & Barbagallo, M. G. (2018). Response of grapevine (Cabernet Sauvignon cv) to above ground and subsurface drip irrigation under arid conditions. *Agricultural Water Management*, 197, 122-131. DOI: 10.1016/j.agwat.2017.11.013
- Poni, S., Marchiol, L., Intrieri, C., & Zerbi, G. (1993). Gas-exchange response of grapevine leaves under fluctuating light. *Vitis*, 32 (4), 137-143.
- Potters, G., Pasternak, T. P., Guisez, Y., Palme, K. J., & Jansen, M. A. K. (2007). Stress-induced morphogenic responses: growing out of trouble? *Trends in Plant Science*, 12(3), 98-105. DOI: 10.1016/j.tplants.2007.01.004
- Pou, A., Flexas, J., Alsina, M. del M., Bota, J., Carambula, C., de Herralde, F., Galmés, J., Lovisolo, C., Jiménez, M., Ribas-Carbó, M., Rusjan, D., Secchi, F., Tomàs, M., Zsófi, Z., & Medrano, H. (2008). Adjustments of water use efficiency by stomatal regulation during drought and recovery in the drought-adapted *Vitis* hybrid Richter-110 (*V. berlandieri* x *V. rupestris*). *Physiologia Plantarum*, 134(2), 313-323. DOI: 10.1111/j.1399-3054.2008.01138.x
- Pou, A., Gulías, J., Moreno, M., Tomàs, M., Medrano, H., & Cifre, J. (2011). Cover cropping in *Vitis vinifera* L. cv. Manto Negro vineyards under Mediterranean conditions: effects on plant vigour, yield and grape quality. *OENO One*, 45(4), 223. DOI: 10.20870/oenone.2011.45.4.1501
- Pou, A., Medrano, H., Tomàs, M., Martorell, S., Ribas-Carbó, M., & Flexas, J. (2012). Anisohydric behaviour in grapevines results in better performance under moderate water stress and recovery than isohydric behaviour. *Plant and Soil*, 359(1-2), 335-349. DOI: 10.1007/s11104-012-1206-7
- Pouget, R. (1988). Le debourrement des bourgeons de la vigne: methode de prevision et principes d'etablissement d'une echelle de precocite de debourrement. *Oeno One*, 22(2), 105-123. DOI: 10.20870/oenone.1988.22.2.1260
- Pratt, C. (1971). Reproductive anatomy in cultivated grapes-a review. *American Journal of Enology and Viticulture*, 22(2), 92-109.
- Pratt, C., & Coombe, B.G. (1978). Shoot growth and anthesis in *Vitis*. *Vitis* 17, 125-133.
- Prieto, J. A., Lebon, É., & Ojeda, H. (2010). Stomatal behavior of different grapevine cultivars in response to soil water status and air water vapor pressure deficit. *OENO One*, 44(1), 9. DOI: 10.20870/oenone.2010.44.1.1459
- Prosdocimi, M., Jordán, A., Tarolli, P., Keesstra, S., Novara, A., & Cerdà, A. (2016). The immediate effectiveness of barley straw mulch in reducing soil erodibility and surface runoff generation in Mediterranean vineyards. *The Science of the Total Environment*, 547, 323-330. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2015.12.076
- Raghavan, V. (2003). Some reflections on double fertilization, from its discovery to the present. *New Phytologist*, 159(3), 565-583. DOI: 10.1046/j.1469-8137.2003.00846.x
- Rahmstorf, S., Foster, G., & Cahill, N. (2017). Global temperature evolution: recent trends and some pitfalls. *Environmental research letters*, 12(5), 054001. DOI: 10.1088/1748-9326/aa6825

- Ramos, M. C., Jones, G. V., & Martínez-Casasnovas, J. A. (2008). Structure and trends in climate parameters affecting winegrape production in northeast Spain. *Climate research*, 38, 1-15. DOI: 10.3354/cr00759
- Reisch, B.L., Owens, C.L., & Cousins, P.S. (2012). Grape. En: *Fruit Breeding*; Badenes, M. L., & Byrne, D. H. (eds.). Editorial: Springer, Boston, pp. 225–262. DOI: 10.1007/978-1-4419-0763-9\_7
- Resco, P. (2012). Impacto del cambio climático en el viñedo en España. Trabajo Fin de Master. Departamento de economía y ciencias sociales agrarias de la Universidad Politécnica de Madrid. ETSIA, UPM, 70 pp.
- Resco, P., Iglesias, A., Bardají, I., & Sotés, V. (2016). Exploring adaptation choices for grapevine regions in Spain. *Regional Environmental Change*, 16(4), 979-993. DOI: 10.1007/s10113-015-0811-4
- Reynolds, A. G. (2015) *Grapevine Breeding Programs for the Wine Industry: Traditional and Molecular Techniques*. 1ª ed.; Reynolds, A. (eds); Editorial: Woodhead Publishing, Oxford. DOI: 10.1016/B978-1-78242-075-0.00001-6. ISBN: 978-1-78242-075-0
- Rienth, M., Vigneron, N., Darriet, P., Sweetman, C., Burbidge, C., Bonghi, C., Walker, R. P., Famiani, F., & Castellarin, S. D. (2021). Grape berry secondary metabolites and their modulation by abiotic factors in a climate change scenario-A review. *Frontiers in Plant Science*, 12, 643258. DOI: 10.3389/fpls.2021.643258
- Riquelme, F. (2018). Antecedentes. Revisión histórica y distribución del cultivo. En: *El Libro de la Monastrell*; Riquelme, F., & Martínez-Cutillas, A. (eds.). Editorial: Consejería de Agua, Agricultura, Ganadería y Pesca, pp. 21-42, ISBN: 978-84-09-06249-2
- 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. *Australian Journal of grape and wine research*, 11(1), 43-58. DOI: 10.1111/j.1755-0238.2005.tb00278.x
- Roby, G., Harbertson, J. F., Adams, D. A., & Matthews, M. A. (2004). Berry size and vine water deficits as factors in winegrape composition: Anthocyanins and tannins. *Australian Journal of Grape and Wine Research*, 10(2), 100-107. DOI: 10.1111/j.1755-0238.2004.tb00012.x
- Roby, J.-P., van Leeuwen, C., Gonçalves, E., Graça, A., & Martins, A. (2014). The preservation of genetic resources of the vine requires cohabitation between institutional clonal selection, mass selection and private clonal selection. *BIO web of conferences*, 3, 01018. DOI: 10.1051/bioconf/20140301018
- Rogiers, S. Y., Hatfield, J. M., Jaudzems, V. G., White, R. G., & Keller, M. (2004). Grape berry cv. Shiraz epicuticular wax and transpiration during ripening and preharvest weight loss. *American Journal of Enology and Viticulture*, 55(2), 121-127
- Rogiers, S. Y., Greer, D. H., Hutton, R. J., & Landsberg, J. J. (2009). Does night-time transpiration contribute to anisohydric behaviour in a *Vitis vinifera* cultivar? *Journal of Experimental Botany*, 60(13), 3751-3763. DOI: 10.1093/jxb/erp217

- Rogiers, S. Y., Greer, D. H., Hatfield, J. M., Hutton, R. J., Clarke, S. J., Hutchinson, P. A., & Somers, A. (2012). Stomatal response of an anisohydric grapevine cultivar to evaporative demand, available soil moisture and abscisic acid. *Tree Physiology*, 32(3), 249-261. DOI: 10.1093/treephys/tpr131
- Romero, P., Fernández-Fernández, J. I., & Martínez-Cutillas, A. (2010). Physiological thresholds for efficient regulated deficit-irrigation management in winegrapes grown under semi-arid conditions. *American Journal of Enology and Viticulture*, 61(3), 300-312.
- Romero, P., Gil-Muñoz, R., del Amor, F. M., Valdés, E., Fernández, J. I., & Martínez-Cutillas, A. (2013). Regulated deficit irrigation based upon optimum water status improves phenolic composition in Monastrell grapes and wines. *Agricultural water management*, 121, 85-101. DOI: 10.1016/j.agwat.2013.01.007
- Romero, P., Muñoz, R. G., Fernández-Fernández, J. I., del Amor, F. M., Martínez-Cutillas, A., & García-García, J. (2015). Improvement of yield and grape and wine composition in field-grown Monastrell grapevines by partial root zone irrigation, in comparison with regulated deficit irrigation. *Agricultural Water Management*, 149, 55-73. DOI: 10.1016/j.agwat.2014.10.018
- Romero, P., Fernández-Fernández, J. I., Gil-Munoz, R., & Botia, P. (2016a). Vigour-yield-quality relationships in long-term deficit irrigated winegrapes grown under semiarid conditions. *Theoretical and Experimental Plant Physiology*, 28(1), 23-51. DOI: 10.1007/s40626-016-0061-y
- Romero, P., García, J. G., Fernández-Fernández, J. I., Muñoz, R. G., del Amor Saavedra, F., & Martínez-Cutillas, A. (2016b). Improving berry and wine quality attributes and vineyard economic efficiency by long-term deficit irrigation practices under semiarid conditions. *Scientia Horticulturae*, 203, 69-85. DOI: 10.1016/j.scienta.2016.03.013
- Romero, P., Botía, P., & Navarro, J. M. (2018). Selecting rootstocks to improve vine performance and vineyard sustainability in deficit irrigated Monastrell grapevines under semiarid conditions. *Agricultural Water Management*, 209, 73-93. DOI: 10.1016/j.agwat.2018.07.012
- Romero, P., Botía, P., del Amor, F. M., Gil-Muñoz, R., Flores, P., & Navarro, J. M. (2019). Interactive effects of the rootstock and the deficit irrigation technique on wine composition, nutraceutical potential, aromatic profile, and sensory attributes under semiarid and water limiting conditions. *Agricultural Water Management*, 225, 105733. DOI: 10.1016/j.agwat.2019.105733
- Romero, P., & García-García, J. (2020). The Productive, economic, and social efficiency of vineyards using combined drought-tolerant rootstocks and efficient low water volume deficit irrigation techniques under Mediterranean semiarid conditions. *Sustainability*, 12(5), 1930. DOI: 10.3390/su12051930
- Romero, P., Navarro, J. M., & Ordaz, P. B. (2022). Towards a sustainable viticulture: The combination of deficit irrigation strategies and agroecological practices in Mediterranean vineyards. A review and update. *Agricultural Water Management*, 259, 107216. DOI: 10.1016/j.agwat.2021.107216



- Rossdeutsch, L., Edwards, E., Cookson, S. J., Barrieu, F., Gambetta, G. A., Delrot, S., & Ollat, N. (2016). ABA-mediated responses to water deficit separate grapevine genotypes by their genetic background. *BMC Plant Biology*, 16(1), 91. DOI: 10.1186/s12870-016-0778-4
- Ruiz-García, L., & Romero, P. (2018). El impacto del cambio climático en la variedad Monastrell. En: *El Libro de la Monastrell*; Riquelme, F., & Martínez-Cutillas, A. (eds.). Editorial: Consejería de Agua, Agricultura, Ganadería y Pesca, pp. 89-118. ISBN: 978-84-09-06249-2
- Ruiz-García, L., Romero, P., Tornel M., Menéndez, C., Cabello, F., & Martínez-Cutillas, A. (2018). La viticultura frente al cambio climático: adaptación y estrategias de mejora. En: *Influencia del cambio climático en la mejora genética de plantas*; García-Brunton, J., Pérez-Tornero, O., Cos-Terrer, J., Ruiz-García, L., & Sánchez-López, E., (eds.). Editorial: Consejería de Agua, Agricultura, Ganadería y Pesca, pp. 165-199. ISBN: 978-84-948233-8-1
- Ruiz-García, Y., Romero-Cascales, I., Bautista-Ortín, A. B., Gil-Muñoz, R., Martínez-Cutillas, A., & Gómez-Plaza, E. (2013). Increasing bioactive phenolic compounds in grapes: Response of six monastrell grape clones to benzothiadiazole and methyl jasmonate treatments. *American Journal of Enology and Viticulture*, 64(4), 459-465. DOI: 10.5344/ajev.2013.13038
- Rustioni, L. Maghradze, D.; Popescu, C.F.; Cola, G.; Abashidze, E.; Aroutiounian, R.; Brazão, J.; Coletti, S.; Cornea, V.; Dejeu, L.; Dinu, D.; Eiras-Dias, J.E.; Fiori, S.; Goryslavets, S.; Ibañez, J.; Kocsis, L., Lorenzini, F., Male-tic, E.; Mamasakhlishashvili, L.; Margaryan, K., Mdinardze, I.; Memetova, E., Montemayor, M.; Muñoz-Organero, G.; Nemeth, G.; Nikolaou, N.; Pastore, G.; Preiner, D.; Raimondi, S.; Risovanna, V.; Sakaveli, F.; Savin, G.; Savvides, S.; Schneider, A.; Schwander, F.; Spring, J.L.; Ujmajuridze, L.; Zioziou, E.; Maul, E.; Bacilieri, R., & Failla, O. (2014). First results of the European grapevine collections collaborative network: validation of a standard eno-carpological phenotyping method. *Vitis*, 53 (4), 219–226.
- Sadras, V. O., Moran, M. A., Petrie, P. R., & Bonada, M. (2012). A window into hotter and drier futures: phenological shifts and adaptive practices. Final Report to the Australian Grape and Wine Research & Development Corporation, Project SAR0901. SARDI Research Report Series No. 671. 258 pp.
- Sakakibara, H. (2006). Cytokinins: activity, biosynthesis, and translocation. *Annual Review of Plant Biology*, 57, 431-449. DOI: 10.1146/annurev.arplant.57.032905.105231
- Sánchez-Hernández, J. L. (2014). El valor social y territorial del vino en España. En: *La economía del vino en España y en el mundo*; Castillo, J. S., & Compés, R. (eds.). Editorial: Cajamar, Almería, pp 31-66. ISBN: 978-84-95531-65-0
- Sancho-Galán, P., Amores-Arocha, A., Palacios, V., & Jiménez-Cantizano, A. (2020). Preliminary study of somatic variants of Palomino Fino (*Vitis vinifera* L.) grown in a warm climate region (Andalusia, Spain). *Agronomy*, 10(5), 654. DOI: 10.3390/agronomy10050654
- Santesteban, L. G., Miranda, C., & Royo, J. B. (2011). Regulated deficit irrigation effects on growth, yield, grape quality and individual anthocyanin composition in *Vitis vinifera* L. cv. 'Tempranillo'. *Agricultural Water Management*, 98(7), 1171-1179. DOI: 10.1016/j.agwat.2011.02.011

- Santesteban, L. G., Miranda, C., Marín, D., Sesma, B., Intrigliolo, D. S., Mirás-Avalos, J. M., Escalona, J. M., Montoro, A., de Herralde, F., Baeza, P., Romero, P., Yuste, J., Uriarte, D., Martínez-Gascuña, J., Cancela, J. J., Pinillos, V., Loidi, M., Urrestarazu, J., & Royo, J. B. (2019). Discrimination ability of leaf and stem water potential at different times of the day through a meta-analysis in grapevine (*Vitis vinifera* L.). *Agricultural Water Management*, 221, 202-210. DOI: 10.1016/j.agwat.2019.04.020
- Santillán, D., Garrote, L., Iglesias, A., & Sotes, V. (2020). Climate change risks and adaptation: new indicators for Mediterranean viticulture. *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change*, 25(5), 881-899. DOI: 10.1007/s11027-019-09899-w
- Santos, J. A., Fraga, H., Malheiro, A. C., Moutinho-Pereira, J., Dinis, L.-T., Correia, C., Marco Moriondo, M., Leolini, L., Camilla Dibari, C., Costafreda-Aumedes, S., Thomas Kartschall, T., Menz, C., Molitor, D., Junk, J., Beyer, M. R., & Schultz H.R. (2020). A review of the potential climate change impacts and adaptation options for European viticulture. *Applied Sciences*, 10(9), 3092. DOI: 10.3390/app10093092
- Savoi, S., Wong, D. C. J., Arapitsas, P., Miculan, M., Bucchetti, B., Peterlunger, E., Fait, A., Mattivi, F., & Castellarin, S. D. (2016). Transcriptome and metabolite profiling reveals that prolonged drought modulates the phenylpropanoid and terpenoid pathway in white grapes (*Vitis vinifera* L.). *BMC Plant Biology*, 16(1), 67. DOI: 10.1186/s12870-016-0760-1
- Scherz, W. (1939). Sind selbstfertile hermaphrodite Weinreben obligat autogam?. *Der Züchter*, 11(8), 244-249. DOI: 10.1007/BF01816150
- Schneider, W., & Staudt, G. (1978). Zur Abhängigkeit des Verrieselns von Umwelt und Genom bei *Vitis vinifera*. *Vitis* 17, 45-53
- Scholander, P. F., Bradstreet, E. D., Hemmingsen, E. A., & Hammel, H. T. (1965). Sap Pressure in Vascular Plants: Negative hydrostatic pressure can be measured in plants: Negative hydrostatic pressure can be measured in plants. *Science*, 148(3668), 339-346. DOI: 10.1126/science.148.3668.339
- 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: Hydraulic conductance and stomatal behaviour. *Plant, Cell & Environment*, 26(8), 1393-1405. DOI: 10.1046/j.1365-3040.2003.01064.x
- Schultz, H. R., & Jones, G. V. (2010). Climate induced historic and future changes in viticulture. *Journal of Wine Research*, 21(2-3), 137-145. DOI: 10.1080/09571264.2010.530098
- Schultz, H. R., & Matthews, M. A. (1988). Vegetative growth distribution during water deficits in *Vitis vinifera* L. *Functional Plant Biology*, 15(5), 641-656.
- Schwartz, M. D. (1999). Advancing to full bloom: planning phenological research for the 21st century. *International Journal of Biometeorology*, 42(3), 113-118. DOI: 10.1007/s004840050093
- Shao, H.-B., Chu, L.-Y., Jaleel, C. A., & Zhao, C.-X. (2008). Water-deficit stress-induced anatomical changes in higher plants. *Comptes Rendus Biologies*, 331(3), 215-225. DOI: 10.1016/j.crv.2008.01.002

- Sharkey, T. D., & Raschke, K. (1981). Effect of light quality on stomatal opening in leaves of *Xanthium strumarium* L. *Plant Physiology*, 68(5), 1170-1174. DOI: 10.1104/pp.68.5.1170
- Shellie, K. C. (2011). Interactive effects of deficit irrigation and berry exposure aspect on Merlot and Cabernet Sauvignon in an arid climate. *American journal of enology and viticulture*, 62(4), 462-470. DOI: 10.5344/ajev.2011.10103
- Shellie, K. C. (2019). Comparison of sustained deficit and pre-and postveraison regulated deficit irrigation on Malbec and Syrah grapevines. *American Journal of Enology and Viticulture*, 70(4), 382-389. DOI: 10.5344/ajev.2019.18078
- Shellie, K. C., & King, B. A. (2020). Application of a daily crop water stress index to deficit irrigate Malbec grapevine under semi-arid conditions. *Agriculture*, 10(11), 492. DOI: 10.3390/agriculture10110492
- Simonneau, T., Lebon, E., Coupel-Ledru, A., Marguerit, E., Rossdeutsch, L., & Ollat, N. (2017). Adapting plant material to face water stress in vineyards: which physiological targets for an optimal control of plant water status? *OENO One*, 51(2), 167-179. DOI: 10.20870/oeno-one.2017.51.2.1870
- Soar, C. J., Speirs, J., Maffei, S. M., & Loveys, B. R. (2004). Gradients in stomatal conductance, xylem sap ABA and bulk leaf ABA along canes of *Vitis vinifera* cv. Shiraz: molecular and physiological studies investigating their source. *Functional Plant Biology: FPB*, 31(6), 659-669. DOI: 10.1071/FP03238
- Spayd, S. E., Tarara, J. M., Mee, D. L., & Ferguson, J. C. (2002). Separation of sunlight and temperature effects on the composition of *Vitis vinifera* cv. Merlot berries. *American journal of enology and viticulture*, 53(3), 171-182.
- Srinivasan, C., & Mullins, M. G. (1981). Physiology of flowering in the grapevine—a review. *American Journal of Enology and viticulture*, 32(1), 47-63.
- Stanimirović, B., Djordjević, J. P., Pejin, B., Maletić, R., Vujović, D., Raičević, P., & Tešić, Ž. (2018). Impact of clonal selection on Cabernet Franc Grape and wine elemental profiles. *Scientia Horticulturae*, 237, 74-80. DOI: 10.1016/j.scienta.2018.03.043
- Staudt, G., Schneider, W., & Leidel, J. (1986). Phases of berry growth in *Vitis vinifera*. *Annals of botany*, 58(6), 789-800. DOI: 10.1093/oxfordjournals.aob.a087261
- Steenwerth, K. L., McElrone, A. J., Calderon-Orellana, A., Hanifin, R. C., Storm, C., Collatz, W., & Manuck, C. (2013). Cover crops and tillage in a mature Merlot vineyard show few effects on grapevines. *American journal of enology and viticulture*, 64(4), 515-521. DOI: 10.5344/ajev.2013.12119
- Stock, M., Gerstengarbe, F. W., Kartschall, T., & Werner, P. C. (2004). Reliability of climate change impact assessments for viticulture. En: VII International Symposium on Grapevine Physiology and Biotechnology, 689, 29-40. DOI: 10.17660/ActaHortic.2005.689.1
- Stocker, T., Qin, D. & Platner, G. (2013) Climate change 2013: The physical science basis. Working Group I Contribution to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Summary for Policymakers. IPCC, Geneva, Switzerland.

- Sturm, J. (2021). *Deutschlands Flora in Abbildungen nach der Natur mit Beschreibungen*. Editorial: Favoritenpresse. ISBN: 978-3968490144
- Sweetman, C., Sadras, V. O., Hancock, R. D., Soole, K. L., & Ford, C. (2014). Metabolic effects of elevated temperature on organic acid degradation in ripening *Vitis vinifera* fruit. *Journal of experimental Botany*, 65(20), 5975-5988. DOI: 10.1093/jxb/eru343
- Taiz, L., & Zeiger, E. (2006). *Fisiología vegetal*. Editorial: Universitat Jaume I. ISBN: 978-84-8021-601-2
- Tello, J., & Ibáñez, J. (2018). What do we know about grapevine bunch compactness? A state-of-the-art review: Review on bunch compactness. *Australian Journal of Grape and Wine Research*, 24(1), 6-23. DOI: 10.1111/ajgw.12310
- This, P., Lacombe, T., & Thomas, M. R. (2006). Historical origins and genetic diversity of wine grapes. *Trends in Genetics*, 22(9), 511-519. DOI: 10.1016/j.tig.2006.07.008
- Tomás, M., Medrano, H., Brugnoli, E., Escalona, J. M., Martorell, S., Pou, A., Ribas-Carbó, M., & Flexas, J. (2014). Variability of mesophyll conductance in grapevine cultivars under water stress conditions in relation to leaf anatomy and water use efficiency: Genotypic variability of mesophyll conductance. *Australian Journal of Grape and Wine Research*, 20(2), 272-280. DOI: 10.1111/ajgw.12069
- Tombesi, S., Nardini, A., Farinelli, D., & Palliotti, A. (2014). Relationships between stomatal behavior, xylem vulnerability to cavitation and leaf water relations in two cultivars of *Vitis vinifera*. *Physiologia Plantarum*, 152(3), 453-464. DOI: 10.1111/ppl.12180
- Torabinejad, J., Caldwell, M. M., Flint, S. D., & Durham, S. (1998). Susceptibility of pollen to UV-B radiation: an assay of 34 taxa. *American Journal of Botany*, 85(3), 360-369. DOI: 10.2307/2446329
- Tortosa, I., Escalona, J. M., Toro, G., Douthe, C., & Medrano, H. (2020). Clonal behavior in response to soil water availability in Tempranillo grapevine cv: *From plant growth to water use efficiency*. *Agronomy*, 10(6), 862. DOI: 10.3390/agronomy10060862
- Turner, N. C. (1990). Plant water relations and irrigation management. *Agricultural Water Management*, 17(1-3), 59-73. DOI: 10.1016/0378-3774(90)90056-5
- Uliarte, E. M., Schultz, H. R., Frings, C., Pfister, M., Parera, C. A., & del Monte, R. F. (2013). Seasonal dynamics of CO<sub>2</sub> balance and water consumption of C<sub>3</sub> and C<sub>4</sub>-type cover crops compared to bare soil in a suitability study for their use in vineyards in Germany and Argentina. *Agricultural and Forest Meteorology*, 181, 1-16. DOI: 10.1016/j.agrfor-met.2013.06.019
- Vail, M. E., & Marois, J. J. (1991). Grape cluster architecture and the susceptibility of berries to *Botrytis cinerea*. *Phytopathology*, 81(2), 188-191.
- van der Schoot, C., Paul, L. K., & Rinne, P. L. H. (2014). The embryonic shoot: a lifeline through winter. *Journal of Experimental Botany*, 65(7), 1699-1712. DOI: 10.1093/jxb/ert413

- van Leeuwen, C., 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(3), 121-134. DOI: 10.20870/oeno-one.2009.43.3.798
- van Leeuwen, C., Schultz, H. R., Garcia de Cortazar-Atauri, I., Duchêne, E., Ollat, N., Pieri, P., Bois, B., Goutouly, J.-P., Quénot, H., Touzard, J.-M., Malheiro, A. C., Bavaresco, L., & Delrot, S. (2013). Why climate change will not dramatically decrease viticultural suitability in main wine-producing areas by 2050. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 110(33), E3051-2. DOI: 10.1073/pnas.1307927110
- van Leeuwen, C., & Darriet, P. (2016). The impact of climate change on viticulture and wine quality. *Journal of Wine Economics*, 11(1), 150-167. <https://doi.org/doi:10.1017/jwe.2015.21>
- van Leeuwen, C., & Destrac-Irvine, A. (2017). Modified grape composition under climate change conditions requires adaptations in the vineyard. *OENO One*, 51(2), 147. DOI: 10.20870/oeno-one.2016.0.0.1647
- van Leeuwen, C., Destrac-Irvine, A., Dubernet, M., Duchêne, E., Gowdy, M., Marguerit, E., Pieri, P., Parker, A., de Rességuier, L., & Ollat, N. (2019). An update on the impact of climate change in viticulture and potential adaptations. *Agronomy*, 9(9), 514. DOI: 10.3390/agronomy9090514
- Venios, X., Korkas, E., Nisiotou, A., & Banilas, G. (2020). Grapevine responses to heat stress and global warming. *Plants*, 9(12), 1754. DOI: 10.3390/plants9121754
- Viguie, V., Lecocq, F., & Touzard, J.-M. (2014). Viticulture and adaptation to climate change. *Journal International Des Sciences de La Vigne et Du Vin*, 55-60. <https://hal.inrae.fr/hal-02633193>
- Vilanova, M., Rodríguez-Nogales, J. M., Vila-Crespo, J., & Yuste, J. (2019). Influence of water regime on yield components, must composition and wine volatile compounds of *Vitis vinifera* cv. Verdejo: Influence of water regime on Verdejo grapes and wine. *Australian Journal of Grape and Wine Research*, 25(1), 83-91. DOI: 10.1111/ajgw.12370
- Vinos de Jumilla. Consejo Regulador Denominación de Origen Protegida. (2015, July 15). Consejo Regulador DOP Jumilla. Recuperado 27 de junio de 2022, de <https://vinosdejumilla.org/>
- Wample, R. L., & Smithyman, R. (2002). Regulated deficit irrigation as a water management strategy in *Vitis vinifera* production. En: *FAO ed., Water Report 22*, 89-100.
- Webb, L. B., Whetton, P. H., & Barlow, E. W. R. (2008). Modelling the relationship between climate, winegrape price and winegrape quality in Australia. *Climate Research*, 36(2), 89-98. DOI: 10.3354/cr00739
- Webb, L. B., Whetton, P. H., & Barlow, E. W. R. (2011). Observed trends in winegrape maturity in Australia. *Global Change Biology*, 17(8), 2707-2719. DOI: 10.1111/j.1365-2486.2011.02434.x
- Williams, L.E., & Matthews, M.A. (1990). Grapevine. En: *Irrigation of Agricultural Crops, Agronomy Monograph N°. 30*; Stewart, B. A., & Nielson, N. R., (eds.). Editorial: American

- Society of Agronomy, Crop Sciences Society of America and the Soil Science Society of America, pp. 1019–1055. ISBN 0-89118-102-4
- 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. *Agricultural and Forest Meteorology*, 132(3-4), 201-211. DOI: 10.1016/j.agrformet.2005.07.010
- Williams, L. E., & Trout, T. J. (2005). Relationships among vine-and soil-based measures of water status in a Thompson Seedless vineyard in response to high-frequency drip irrigation. *American Journal of Enology and Viticulture*, 56(4), 357-366.
- Williams, L. E. (2014). Determination of evapotranspiration and crop coefficients for a Chardonnay vineyard located in a cool climate. *American Journal of Enology and Viticulture*, 65(2), 159-169. DOI: 10.5344/ajev.2014.12104
- Williams, L. E. (2017). Physiological tools to assess vine water status for use in vineyard irrigation management: review and update. *Acta horticultrae*, 1157, 151-166. DOI: 10.17660/actahortic.2017.1157.24
- Winkler, A.J., & Williams, W.O. (1935). Effect of seed development on the growth of grapes. *Proceedings of the American Society for Horticultural Science*. 33, 430–434.
- Wolkovich, E. M., Burge, D. O., Walker, M. A., & Nicholas, K. A. (2017). Phenological diversity provides opportunities for climate change adaptation in winegrapes. *Journal of Ecology*, 105(4), 905-912. DOI: 10.1111/1365-2745.12786
- Wolkovich, E. M., García de Cortázar-Atauri, I., Morales-Castilla, I., Nicholas, K. A., & Lacombe, T. (2018). From Pinot to Xinomavro in the world's future wine-growing regions. *Nature Climate Change*, 8(1), 29–37. DOI: 10.1038/s41558-017-0016-6
- Würz, D. A., Marcon Filho, J. L., Allebrandt, R., Bem, B. P. de, Rufato, L., & Kretschmar, A. A. (2019). Desempenho agrônômico da videira Cabernet Sauvignon em diferentes sistemas de condução em regiões de elevada altitude de Santa Catarina, Brasil. *Revista de Ciências Agroveterinárias*, 18(1), 73-80. DOI: 10.5965/223811711812019073
- Zamora, F. (2013). La química del color del vino. *Sociedad Española de Bioquímica y Biología Molecular*, 176, 18-22.
- Zapata, D., Salazar-Gutierrez, M., Chaves, B., Keller, M., & Hoogenboom, G. (2017). Predicting Key Phenological Stages for 17 Grapevine Cultivars (*Vitis vinifera* L.). *American journal of enology and viticulture*, 68(1), 60-72. DOI: 10.5344/ajev.2016.15077
- Zarrouk, O., Francisco, R., Pinto-Marijuan, M., Brossa, R., Santos, R. R., Pinheiro, C., Costa, J. M., Lopes, C., & Chaves, M. M. (2012). Impact of irrigation regime on berry development and flavonoids composition in Aragonez (Syn. Tempranillo) grapevine. *Agricultural Water Management*, 114, 18-29. DOI: 10.1016/j.agwat.2012.06.018
- Zarrouk, O., Brunetti, C., Egipto, R., Pinheiro, C., Genebra, T., Gori, A., Lopes, C. M., Tattini, M., & Chaves, M. M. (2016). Grape ripening is regulated by deficit irrigation/elevated temperatures according to cluster position in the canopy. *Frontiers in Plant Science*, 7, 1640. DOI: 10.3389/fpls.2016.01640

- Zhao, Y. (2018). Essential roles of local auxin biosynthesis in plant development and in adaptation to environmental changes. *Annual Review of Plant Biology*, 69, 417-435. DOI: 10.1146/annurev-arplant-042817-040226
- Zohary, D. (1996). Domestication of the Grapevine *Vitis vinifera* L. in the Near East. *The origins and ancient history of wine*. Edited by: McGovern P, Fleming S, Katz S, 23-30.
- Zohary, D., & Hopf, M. (2000). Domestication of plants in the Old World: The origin and spread of cultivated plants in West Asia, Europe and the Nile Valley (No. Ed. 3). Oxford university press. ISBN: 0198503563
- Zombardo, A., Mica, E., Puccioni, S., Perria, R., Valentini, P., Mattii, G. B., Cattivelli, L., & Storch, P. (2020). Berry quality of grapevine under water stress as affected by rootstock-scion interactions through gene expression regulation. *Agronomy*, 10(5), 680. DOI: 10.3390/agronomy10050680
- Zufferey, V., Spring, J.-L., Verdenal, T., Dienes, A., Belcher, S., Lorenzini, F., Koestel, C., Rösti, J., Gindro, K., Spangenberg, J., & Viret, O. (2017). The influence of water stress on plant hydraulics, gas exchange, berry composition and quality of Pinot Noir wines in Switzerland. *OENO One*, 51(1). DOI: 10.20870/oeno-one.2017.51.1.1314
- Žurovec, O., Sitaula, B. K., Čustović, H., Žurovec, J., & Dörsch, P. (2017). Effects of tillage practice on soil structure, N<sub>2</sub>O emissions and economics in cereal production under current socio-economic conditions in central Bosnia and Herzegovina. *PloS One*, 12(11), e0187681. DOI: 10.1371/journal.pone.0187681