

ENSAYO REALIZADO EN CEPAS DE CABERNET SAUVIGNON EN LA LOCALIDAD MADRILEÑA DE MORATA DE TAJUÑA

Validación de los dendrómetros como señal de alarma del estrés hídrico

El objetivo de este estudio ha sido comprobar la sensibilidad de los transductores lineales de desplazamiento (LTD's), también denominados dendrómetros, como señal de alarma del estrés hídrico en el cultivo de la vid, para lo cual se planteó el corte del riego durante un periodo de diez días, en la fase de inicio de envero, en un

viñedo de Cabernet Sauvignon, situado en Morata de Tajuña (Madrid). En el mismo, se ha comparado la rapidez de respuesta de los dendrómetros frente a la de la conductancia estomática, la fotosíntesis, la transpiración y el potencial hídrico foliar, y se ha estudiado la respuesta de la evolución del peso de la baya.

Carolina Hernando, Patricia Sánchez, José Ramón Lissarrague y Pilar Baeza.

Grupo de Investigación en Viticultura. Universidad Politécnica de Madrid.

Actualmente, de las 1.142.000 hectáreas de viñedo que se cultivan en España, 144.000 ha se cultivan en regadío. El riego se ha extendido como factor determinante pero se debe optimizar su uso de manera razonable y eficaz ajustando las dosis a los objetivos de calidad y cantidad de cosecha fijados, mejorando la eficacia en el uso del agua.

Diversos parámetros han demostrado ser buenos indicadores del estado hídrico de la planta (**cuadro I**).

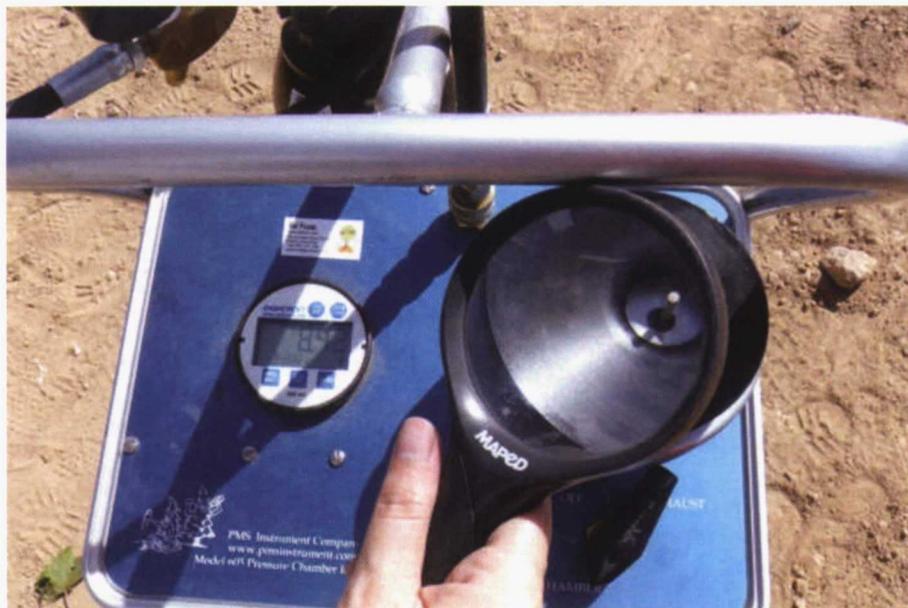
Materiales y métodos

Durante la campaña 2008 se ha desarrollado un ensayo en Morata de Tajuña (Madrid) con plantas de vid de cv. Cabernet Sauvignon/41B. Se plantaron en 2005 a un marco de 3 x 1 m, con filas orientadas norte-sur. Las plantas poseen un cordón unilateral en el que se le ha dejado una carga de seis pámpanos por cepa.

Para provocar el déficit hídrico se interrumpió el riego habitual de la finca desde el 12 de agosto (día 225) hasta el 22 de agosto (día 235) en las cepas correspondientes al tratamiento 1, tras lo cual se restableció el aporte de agua habitual en la finca. El tratamiento 2 se riega 0,30·ET₀. Los datos climáticos durante los días que duró el corte de agua

de riego figuran en el **cuadro II**.

La instalación de riego está formada por un sistema de riego localizado con goteros autocompensantes de 2,3 l/h, con una distancia entre goteros de 1m. En el tratamiento estresado (T1) se aplicaron 185,6 mm/año y en el tratamiento regado según el criterio de la finca (T2) se aplicaron 199,6 mm/año.



Medición del potencial hídrico foliar con una cámara de presión.

El dispositivo experimental corresponde a un diseño en tres bloques al azar. Cada bloque contiene cinco filas de 40 cepas cada una. Las dos filas laterales son bordes, al igual que las plantas de cabecera de línea, resultando un total de 38 cepas control en cada una de las tres filas control. Se instalaron los dendrómetros en dos cepas control en cada bloque y tratamiento, resultando un total de seis dendrómetros por tratamiento, completamente automatizados.

Se ha evaluado la fotosíntesis neta, la conductancia estomática, la transpiración y el potencial hídrico en días alternos desde la imposición de la restricción de agua. Las medidas se realizaron a las 9 horas solares. Debido a que se estropeó el IRGA a los seis días de comenzar el seguimiento, hubo que sustituirlo por un porómetro. A partir de entonces se midió la conductancia estomática (gs) y la transpiración de la hoja (E) ya que este aparato no mide la fotosíntesis. Se determinó para cada tratamiento la integral de estrés hídrico (SY) entre el estado de tamaño guisante y vendimia. Este parámetro conjuga la intensidad y duración del estrés respecto de una fecha determinada, que en nuestro caso fue el primer día de ensayo.

La medición de la variación diaria del diámetro del tronco se ha realizado mediante dendrómetros. Del continuo de datos registrados, se obtiene, por un lado, la máxima contracción diaria (MCD), como diferencia entre el máximo diámetro del tronco, alcanzado antes de amanecer y el mínimo, alcanzado por la tarde, y por otro, el crecimiento diario (CD), como diferencia entre los máximos diarios de dos días consecutivos, éste puede ser positivo, negativo o cero.

Semanalmente se muestrearon y pesaron cien bayas por repetición, desde el estado de tamaño guisante (7 mm Ø) hasta vendimia.

Resultados y discusión

Respuesta a nivel de hoja

Evolución de la conductancia estomática, fotosíntesis y transpiración

Las medidas se hicieron a las 9 h, ya que es el momento de máxima actividad diaria y por tanto, cuando mejor se determi-

CUADRO I.

Ventajas e inconvenientes del potencial hídrico foliar, conductancia estomática, transpiración, fotosíntesis, contracción y dilatación del tronco e incremento del peso de la baya.

Dato obtenido	Ventajas	Inconvenientes
Potencial hídrico foliar	<ul style="list-style-type: none"> - Antes de amanecer indica la disponibilidad de agua del suelo - Durante el día indica el estado hídrico a nivel de hoja - Buen indicador de la respuesta fisiológica de la hoja - Rápido - Hay umbrales definidos que valoran el estado hídrico de la planta 	<ul style="list-style-type: none"> - Sólo con restricción hídrica leve-medida - Medida destructiva - Equipo pesado - Personal cualificado - No automatizado - No hay disponibilidad de registrar los datos - Mala respuesta en variedades isohídricas
Conductancia estomática, transpiración y fotosíntesis	<ul style="list-style-type: none"> - Mide la respuesta fisiológica a nivel de hoja: gs, E, A - Sensibilidad de respuesta alta y rápida en la conductancia estomática - No destructivo - Hay umbrales definidos indicadores del estado hídrico de la planta 	<ul style="list-style-type: none"> - Necesita tiempo para estabilizarse - Personal altamente cualificado - Equipo pesado - Muy caro - No automatizado
Contracción y dilatación del tronco	<ul style="list-style-type: none"> - Miden de forma continua - Envían la señal mediante soporte electrónico - Son fijos, no se tienen que desplazar - Relacionado con el crecimiento y estado hídrico de la vid - Respuesta global de la planta 	<ul style="list-style-type: none"> - Son útiles hasta antes de enero - Muy sensibles a los movimientos bruscos: viento, animales, lluvia fuerte, vibraciones de maquinaria, etc. - Necesidad de internet o vía radio - Mantenimiento por personal especializado - No hay niveles o umbrales objetivos definidos para determinar el estado hídrico de la planta
Crecimiento del pámpano	<ul style="list-style-type: none"> - Es la medida más sensible de estrés hídrico - Fácil de medir, basta con una cinta métrica - Muy útil desde brotación a tamaño guisante. - Muy relacionado con la medida de los LTD's 	<ul style="list-style-type: none"> - Consume personal y tiempo - No útil si queremos detener desarrollo vegetativo para favorecer maduración
Incremento de peso de la baya	<ul style="list-style-type: none"> - Fácil obtención de muestras - Barata. Sólo balanza - Campo de muestra muy amplio. Se muestrean muchas cepas 	<ul style="list-style-type: none"> - Se puede muestrear cómodamente desde tamaño guisante - En Fase II no es un buen indicador

nan las diferencias frente al estado hídrico. Más tarde, la demanda atmosférica es mayor y no puede ser satisfecha plenamente ni por el tratamiento regado, disminuyendo, e incluso, no habiendo diferencias en la respuesta a

Se han obtenido relaciones significativas entre el crecimiento diario acumulado y la máxima contracción diaria acumulada, con la fotosíntesis, conductancia estomática e integral de estrés, en situación de estrés hídrico

nivel de hoja entre regímenes hídricos.

Partiendo de valores máximos de conductancia estomática de 227 y 249 mmol H₂O/m²s para el tratamiento estresado y el regado respectivamente, se produjo (figura 1a) una disminución drástica al día siguiente (día 226) en ambos tratamientos, debido a un aumento de la temperatura y disminución de la humedad relativa (cuadro II). Este aumento de la demanda atmosférica (déficit de presión de vapor) produjo el cierre parcial de los estomas. Al tercer día de inicio del tratamiento (día 228), la respuesta al estrés hídrico del tratamiento estrés se hizo evidente, encontrándose diferencias significativas a partir de esta fecha hasta el final del ensayo.

Las medidas realizadas de fotosíntesis neta muestran una gran dependencia de la conductancia estomática (gs) y del estado de hidratación de los tejidos, que a su vez depen-

CUADRO II.

Características climáticas durante los días de agosto de 2008 en que se desarrolló el corte de agua en el viñedo en Morata de Tajuña (Madrid).

Día del mes de agosto	Día del año 2008	Temperatura (°C)		Humedad relativa (%)		DPV (KPa)	Precipitación	ET ₀ (mm/día)
		máxima	mínima	máxima	mínima			
12	225	30,4	16,9	73,5	28,3	1,85	0	6,89
13	226	31,9	13,7	56,9	11,4	2,42	0	5,69
14	227	29,7	15,2	77,9	13,6	2,10	0	5,82
15	228	28,3	11,8	61,1	12,2	1,99	0	5,10
16	229	30,1	11,0	65,0	14,0	2,07	0	5,34
17	230	30,3	11,7	76,5	17,5	1,94	0	5,07
18	231	33,9	11,0	71,8	13,5	2,58	0	5,47
19	232	33,1	13,8	62,5	8,8	2,54	0	6,26
20	233	32,8	13,5	70,6	11,5	2,40	0	5,62
21	234	34,9	14,1	72,3	12,9	2,71	0	5,65
22	235	33,9	17,5	70,6	16,1	2,56	0	6,52

Datos correspondientes a la estación de Arganda (Madrid).

de del estado hídrico del suelo. La evolución de la fotosíntesis muestra un decrecimiento en ambos tratamientos al día siguiente de medida, en consonancia con g_s , sin embargo, mientras el tratamiento estresado persiste con un descenso gradual a medida que el estrés se va acumulando, el tratamiento regado remonta cuando las condiciones climáticas se suavizan y mantiene una respuesta constante influenciada únicamente por las condiciones atmosféricas del momento (**figura 1b**). La fotosíntesis, mostró diferencias signi-

ficativas a partir del tercer día de imposición del tratamiento, al igual que la conductancia estomática.

La tendencia de la transpiración a las 9 h ha sido diferente a la de la fotosíntesis y la conductancia estomática: ascendente (**figura 1c**) de manera más o menos intensa, según la demanda atmosférica y la disponibilidad hídrica. En el tratamiento estresado se muestra un ligero crecimiento a lo largo de los días debido a la aún disponible, aunque cada vez menor reserva de agua en el suelo y a la

dependencia de este parámetro de las condiciones ambientales. Al igual que en la g_s y la A neta, las diferencias se confirman al tercer día de iniciar el tratamiento de estrés.

Podemos concluir que de los parámetros estudiados a nivel de hoja g_s es la que manifiesta diferencias más tempranas y acentuadas frente al déficit hídrico, seguida de la fotosíntesis y en último lugar de la transpiración (**figura 2**).

Evolución del potencial hídrico foliar a la hora de máxima actividad para la planta

La medida diaria del potencial hídrico de la hoja, refleja la combinación de la demanda de agua de la atmósfera, de la disponibilidad hídrica del suelo, de la conductividad hidráulica interna de la planta y de la regulación estomática.

Los valores de potencial alcanzados en ambos tratamientos (**figura 3**) indican que se encuentran dentro de un rango considerado adecuado en ambos tratamientos. Algunos autores consideran que entre -1,2 MPa hasta -1,4 MPa, es un nivel de hidratación adecuado. Es decir, si partimos de un nivel adecuado de suministro de agua y se restringe o se dificulta la alimentación hídrica (caso de una ola de calor) nos interesa conocer la rapidez de respuesta del potencial hídrico.

El potencial hídrico foliar a las 9 horas refleja una tendencia descendente en ambos tratamientos a medida que avanzan los días (**figura 3**). El descenso es más pronunciado al inicio del ensayo en el tratamiento no-regado, lo que indica que una distinta disponibilidad hídrica para la planta sí produce una variación de los valores de Ψ_f , (**figura 3**) dentro del nivel de disponibilidad de agua en el suelo en el que nos movemos. Se puede decir que el potencial hídrico a las 9 horas es un buen estimador del estado hídrico de la planta, puesto que se observan diferencias significativas entre ambos tratamientos a partir del tercer día de medida al igual que g_s , E y A , pero sin embargo, éstas no son tan constantes puesto que al cuarto día de medida el análisis estadístico no detecta diferencias. Por otro lado, la distancia entre tratamientos es menor que en el caso de A y g_s ; en la **figura 1** se observa los tratamientos tienden a separarse, mientras que en la **figura 3** se mantienen más o menos paralelas. La A y g_s , caen a niveles referenciados como bajos en la literatura que por el contrario, y a pesar de las diferencias entre los tratamientos, se engloban



Detalle de un dendrómetro.

dentro de un rango adecuado, en el caso del potencial hídrico. Parece indicar que el potencial hídrico foliar tiene una mayor inercia de respuesta.

Respuesta a nivel de la planta

Variación del diámetro del tronco

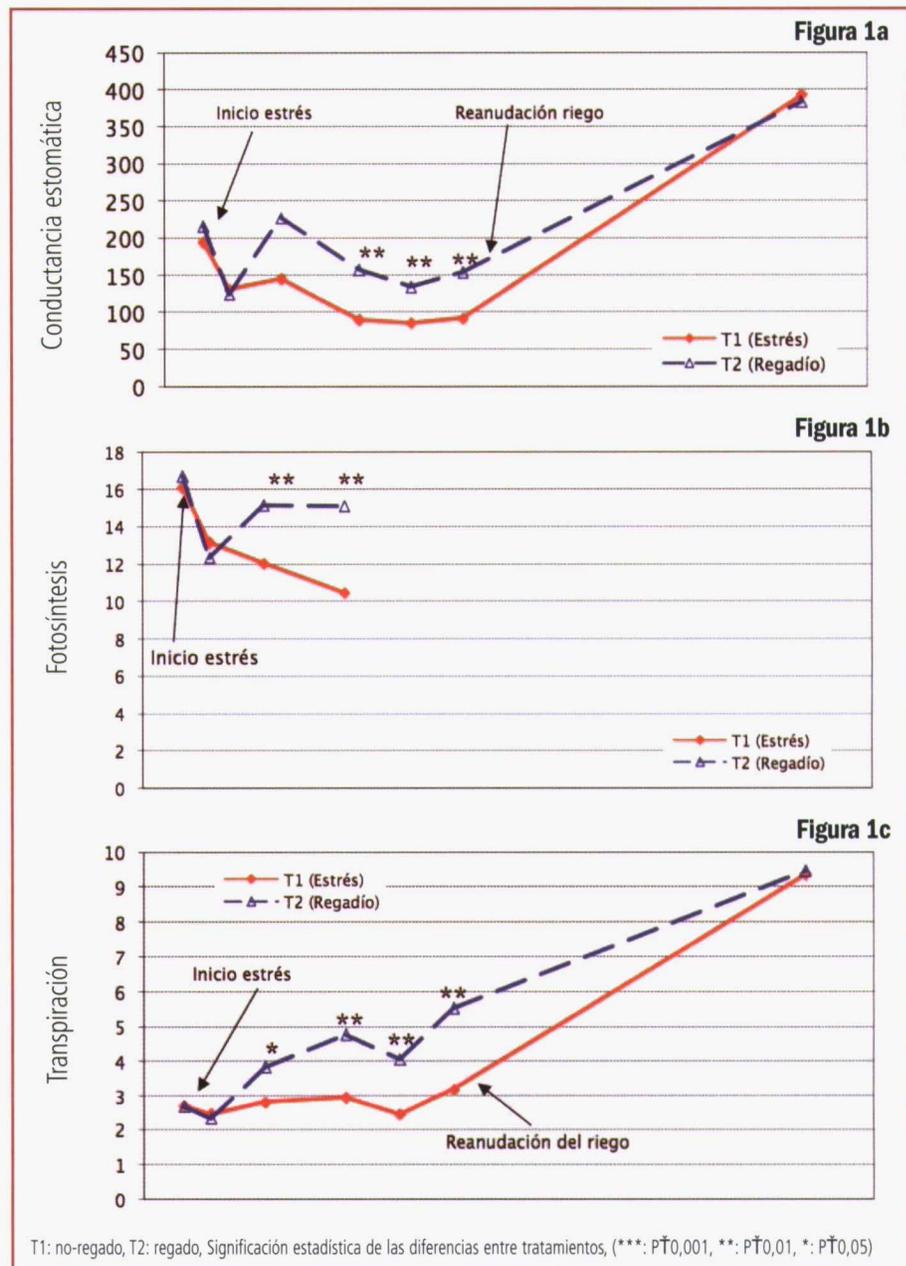
La contracción del tronco se produce como resultado del exceso de pérdida de agua por transpiración respecto de la absorción realizada por las raíces. La planta suple, en parte, esta diferencia cediendo al sistema parte del agua de constitución, lo que produce una pérdida de turgencia en las células y una contracción del tronco. Esta contracción se produce de día, con los estomas abiertos. Por tanto, las contracciones diarias del tronco nos dan una estimación del déficit hídrico que sufre la planta diariamente y del estado hídrico de la misma. De noche el tronco se expande hasta alcanzar el diámetro original del día anterior. Sin embargo, cuando la expansión nocturna sobrepasa la contracción del día anterior se produce un crecimiento neto del tronco. El crecimiento se define como la diferencia del diámetro máximo entre dos días consecutivos.

Máxima contracción diaria (MCD)

MCD es un indicador de la disponibilidad hídrica. Si el tronco se contrae y se recupera es porque la planta tiene agua suficiente, de ahí que el tratamiento regado sea el que más MCD posea (figura 4). Cuando la planta no tiene agua, la rehidratación nocturna es menor y la disponibilidad de agua durante el día es menor reflejándose una disminución de la MCD respecto al tratamiento con riego. Por tanto MCD se muestra a priori como un indicador la disponibilidad de agua y del estrés hídrico. En la evolución de la MCD (figura 4a), se han observado diferentes respuestas entre ambos tratamientos, siendo la amplitud de la contracción mayor en el tratamiento regado que en el no-riego. La MCD en regadío aumenta hasta el día 228, las plantas regadas muestran un crecimiento progresivo del diámetro del tronco, y la diferencia entre dos días consecutivos es siempre positiva; a mitad del ensayo, la pendiente cambia de signo, se hace negativa, a partir de ese momento las contracciones diarias del tronco se reducen debido a que las temperaturas fueron más cá-

FIGURA 1.

Evolución de la conductancia estomática ($\text{mmol H}_2\text{O}/(\text{m}^2\text{s})$), fotosíntesis neta ($\mu\text{mol C}_2\text{O}/(\text{m}^2\text{s})$) y transpiración ($\text{mmol H}_2\text{O}/(\text{m}^2\text{s})$) a las 9 hora solar (A,B,C) desde el día 225 (12 de agosto) al 248 (22 de agosto).



lidas (cuadro II). En el tratamiento no-riego la amplitud de las contracciones caen bruscamente desde el segundo día de medida, provocado por la falta de agua y la menor rehidratación nocturna.

La sensibilidad de respuesta de la MCD frente déficit hídrico queda reflejada en la figura 4b que presenta el porcentaje de tratamiento no-regado respecto al tratamiento regado, obviando de esta manera las condicio-

nes ambientales y obteniendo únicamente el efecto estrés/regadío. Al segundo día de restricción hídrica se produce un descenso muy acusado de la contracción diaria del tronco cayendo hasta el 70% provocado porque las plantas ya no pueden movilizar agua de sus propios tejidos. Es, en este momento, en el cual la planta se encuentra en una zona de riesgo; la zona de peligro viene definida por el intervalo en que las oscilaciones del porcen-

taje de estrés frente a secano van disminuyendo. Aunque estos resultados no pueden interpretarse por sí solos ya que necesitamos un testigo que nos determine si estamos por debajo de la situación óptima estos resultados muestran que la MCD es, de todos los parámetros medidos en la planta, la que tiene una respuesta más sensible y rápida frente al déficit hídrico en el estado fenológico envero.

Crecimiento diario

Myburgh (1996) diferencia tres fases en la evolución de crecimiento del tronco: la primera, desde brotación hasta floración, donde no se observa crecimiento neto del tronco, la segunda desde floración hasta envero, donde se produce el máximo crecimiento, debido a que la expansión del diámetro del tronco excede la contracción que sucede el día anterior dando lugar a un crecimiento neto positivo; durante la tercera fase, desde envero hasta vendimia, se produce una ligera disminución en el diámetro del tronco.

El día 225, las vides de Cabernet Sauvignon estaban comenzando a enverar, lo que corresponde con la fase III diferenciada por los autores anteriores, y por este motivo en la curva de crecimiento del tronco se produce una reducción en ambos tratamientos debido a una redistribución de los fotoasimilados, por la presencia de los racimos como fuertes sumideros (figura 4c). Sin embargo, MCD resulta un buen indicador del estado hídrico de la vid ya que las diferencias entre ambos tratamientos se van acentuando como respuesta al agotamiento de las reservas hídricas de la planta y del suelo. A partir del día 228 los tratamientos tienen una respuesta cada vez más distante como se ratifica con los datos de crecimiento diario acumulado (figura 4c). La pendiente del CDA en el tratamiento regado tiende a cero ya que el crecimiento se mantiene a corto plazo tras el envero, mientras que el tratamiento estresado sigue siendo negativa, Intrigliolo *et al.*, (2007) obtuvieron que CDA era una señal de alarma más sensible que MCD.

En ambos tratamientos el crecimiento es negativo, sin embargo, en el tratamiento regado la pendiente se hace cero, la disponibilidad hídrica permite una estabilización de la disminución del diámetro del tronco mientras que en el estresado se acentúa esa disminución del diámetro. Esto obligaría a tener dos regímenes hídricos para tener una interpretación relativa de los resultados y poder

FIGURA 2.

Evolución del porcentaje de tratamiento estresado respecto al tratamiento regado utilizando los valores de conductancia estomática, fotosíntesis neta y transpiración a la hora de máxima desde el 12 (225) al 22 de agosto (235).

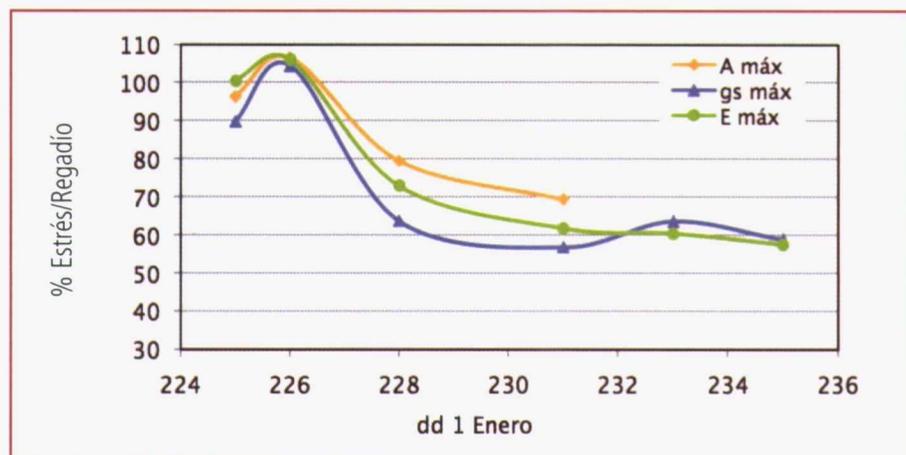
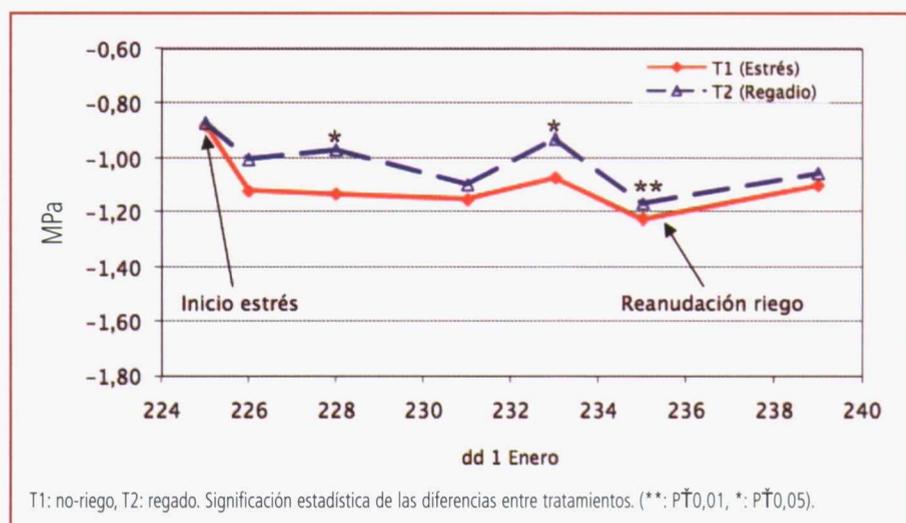


FIGURA 3.

Evolución del potencial hídrico foliar (MPa) a las 9 horas.



T1: no-riego, T2: regado. Significación estadística de las diferencias entre tratamientos. (**: $P \leq 0,01$, *: $P \leq 0,05$).



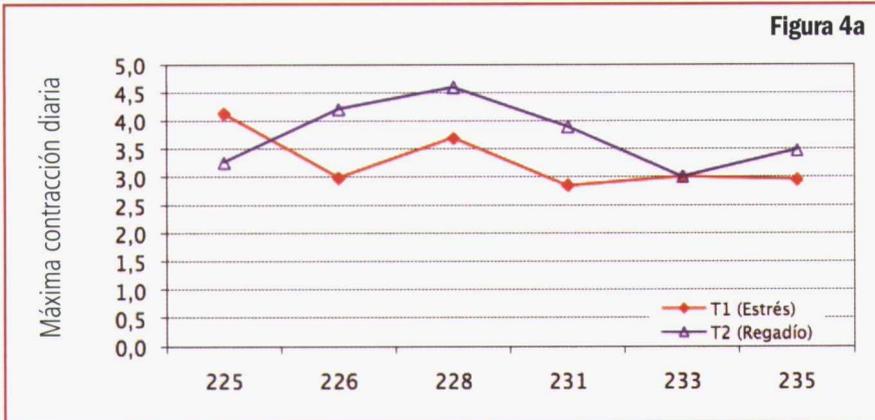
tomar decisiones y además estudiar la tendencia; un dato aislado no proporciona suficiente información, a diferencia de lo que sucede con gs o el potencial hídrico, cuyos valores ya están evaluados cualitati-

vamente desde el punto de vista del estado hídrico de la planta. Por otro lado, en este estado fenológico de inicio de enero, la respuesta del CDA tarda más en mostrar divergencias entre tratamientos que la MCD (figu-

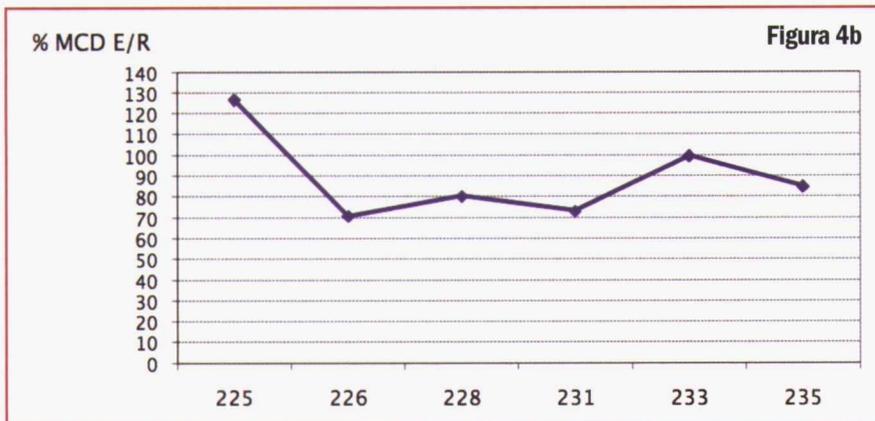
ras 4b y 4c), resultando la amplitud de la contracción diaria un indicador más sensible frente a la variación de la disponibilidad hídrica que el crecimiento diario acumulado.

FIGURA 4.

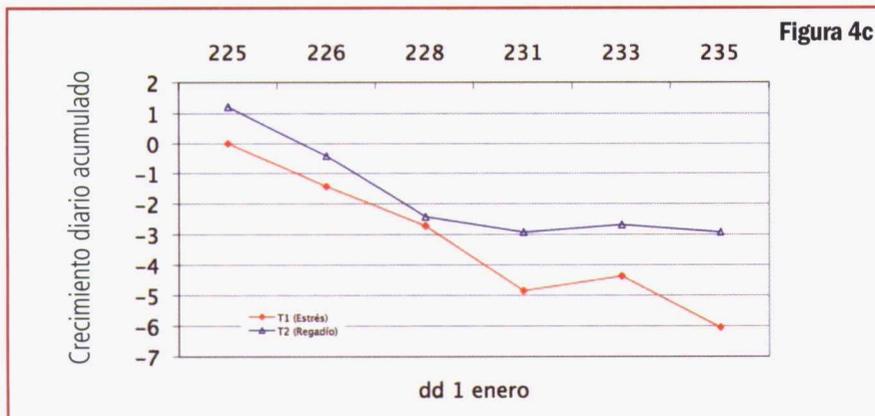
Evolución de la máxima contracción diaria (mm^2) durante el periodo de restricción del riego: T1: estrés y T2: regadío



Evolución del porcentaje de tratamiento estresado respecto al tratamiento regado utilizando los valores de máxima contracción diaria durante el periodo de restricción del riego



Evolución del crecimiento diario acumulado (mm^2) durante el periodo de restricción del riego. T1: estrés y T2: regadío.



Evolución del peso de la baya

El crecimiento de la baya, sigue una progresión que se asemeja a una curva doble sigmoideal.

Una vez comenzado el ensayo los tratamientos siguen la misma tendencia de crecimiento independientemente de si reciben o no agua de riego (figura 5). Las diferencias estadísticas comienzan transcurridos quince días desde que se cortó el riego (inicio enero) por lo que no resulta un buen indicador "de riesgo" del estado hídrico de la planta.

Relaciones de los parámetros a nivel de hoja y de planta

Existe una relación lineal significativa entre la conductancia estomática y el crecimiento diario acumulado, así como con la MCD en el tratamiento sometido a no-riego (cuadro III). No existe relación estadística entre el potencial hídrico foliar y el crecimiento diario acumulado ni con la MCD en el tratamiento sometido a restricción hídrica (cuadro III). Sin embargo, sí que hay una relación lineal entre el crecimiento diario acumulado y la integral de estrés. Es lógico pensar que el CDA o la MCD acumulada estén más relacionadas con la integral de estrés que precisamente mide la acumulación de estrés durante el mismo periodo en que se midió el crecimiento frente a un dato puntual como es el potencial hídrico foliar; Ello indica que la planta responde a su historia, a las situaciones anteriores por las que haya pasado, además de a la situación puntual, hay una aclimatación de la planta a las condiciones de cultivo.

Conclusiones

- La máxima contracción diaria ha sido el parámetro más sensible cuando se ha impuesto la restricción hídrica. Por lo que se puede decir que el dendrómetro es una herramienta útil como indicador de alerta de la variación del estado hídrico de la planta en enero.
- El orden de rapidez de respuesta entre los parámetros medidos a nivel de hoja fue: conductancia estomática, fotosíntesis y potencial hídrico foliar.

CUADRO III.

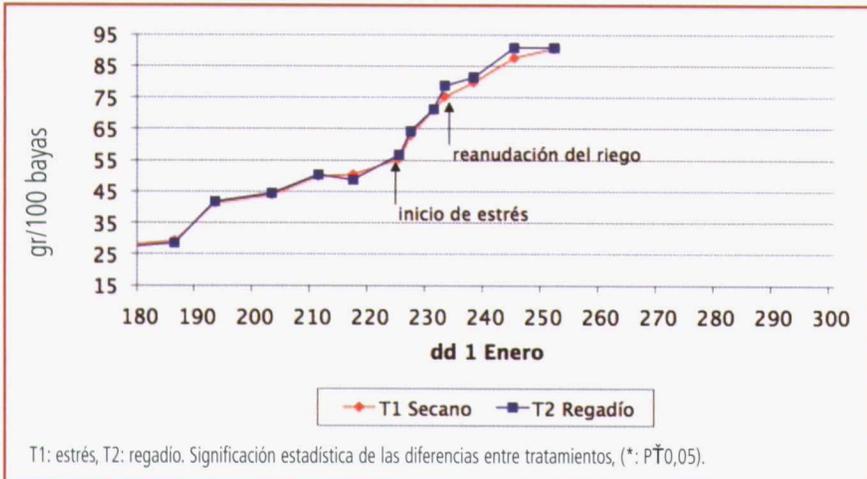
Relación existente mediante la ecuación de la recta y el coeficiente de regresión (R^2) entre el crecimiento diario acumulado (CDA) o la máxima contracción diaria acumulada (MCDacum,) con los parámetros fisiológicos estudiados.

X		R ²	X		R ²
g_s	CDA = 17,16 X + 178,37	0,82*	g_s	MCD acum, = 310,34 X ^{0,35}	0,85*
Ψ_f	-	ns	Ψ_f	-	ns
S_ψ	CDA = -0,43 X - 0,27	0,91*	S_ψ	MCD acum, = 0,08 X - 0,44	0,99***

* Conductancia estomática (g_s , mmol H₂O/(m²s), potencial hídrico foliar (Ψ_f , MPa) e integral de estrés (S_ψ , MPa). Significación estadística ***: P≤0,001, **: P≤0,01, *: P≤0,05, ns: no significativo.

FIGURA 5.

Evolución del peso de la baya (g/100 bayas).



- La transpiración es un parámetro que depende del estado hídrico de la vid pero en mayor medida de las condiciones atmosféricas del medio, por lo que no se puede utilizar como indicador del estado hídrico de la planta.
- El peso de la baya es el indicador que más tarda en reaccionar frente a la falta de agua.
- La integral de estrés muestra una visión más amplia del estado de la planta y tiene una alta correlación con el crecimiento diario acumulado ya que en ambas medidas se integra la duración y la intensidad del estrés en la planta.
- La utilización de los dendrómetros como herramienta de señal de alarma de la variación del estado hídrico de la planta ha de basarse en el estudio de las tendencias de crecimiento del tronco. ●

Agradecimientos

El ensayo se ha llevado a cabo con la empresa Verdtech Nuevo Campo que, a través del proyecto Ecosat, ha dotado de la ayuda material y técnica. El viñedo pertenece a la Bodega Licinia.

70 a 180 CV

Con MICHELIN OMNIBIB serie 70,
rentabilice su explotación

75 años

NUEVO



- ✓ Ahorro de carburante
- ✓ Duración y confort en desplazamientos
- ✓ Capacidad de carga

MISMA LLANTA
QUE LA SERIE ESTANDAR

