

41TCQA - Isótopos Estables de Carbono como Proxy de Estrés Hídrico: Tendencias en Vides de Mendoza

Carbon Stable Isotopes as Water Stress Proxy: Trends in Vineyards from Mendoza

Irene Carbajal Ramos¹, Armando Dauverné², Gabriel Nahuel³, Silvia Clavijo¹, María Silvina Cabeza^{1,4}, Gisela Quiroga^{1,2}

1. Facultad de Ciencias Aplicadas a la Industria. Universidad Nacional de Cuyo. San Rafael (Mza.)
2. Laboratorio de Isótopos Estables en Ciencias Ambientales (UTN & CONICET). Av. Urquiza 315, San Rafael (Mza.)
3. INTA, Estación Experimental Rama Caída; El Vivero s/N°, San Rafael (Mza.)
4. CONICET. Sede Facultad de Ciencias Aplicadas a la Industria. Universidad Nacional de Cuyo. San Rafael (Mza.)

Resumen

En la provincia de Mendoza, ante el cambio climático, restricciones de agua y diversas estrategias de riego; es necesario contar con indicadores confiables del estado hídrico de las vides.

Nuestro estudio tiene como objetivo cotejar mediante el uso de isótopos estables el $\delta^{13}\text{C}$ con potenciales hídrico foliar de pre amanecer (Ψ_{pd}) y mediodía (Ψ_{md}). Se trabajó sobre un viñedo *Vitis vinifera* L.cv Malbec, con riego por goteo 100% ETc. El diseño experimental quedó definido con cinco tratamientos: (TE), Testigo; (NG), antigranizo negra instalación grembiule; (PG), perla instalación grembiule; (NM), negra instalación grembiule modificado y (PM), perla instalación grembiule modificado. Durante la etapa envero-cosecha 2020, se registraron diez mediciones de potencial hídrico pre amanecer y once de mediodía. Se procesaron los datos, y se analizaron a partir de medias por tratamiento. En cosecha, se conformaron muestras de 50 bayas por parcela, se deshidrataron y redujeron el tamaño para procesar $3 \pm 0,5 \mu\text{g}$. Se midió $\delta^{13}\text{C}$ por parcela con espectrómetro de masas.

A partir del análisis de resultados, no se obtuvo modelo de regresión final en los rangos operativos. La interpretación de los umbrales, determinó que el cultivo había presentado restricción hídrica ausente a leve, por ambas metodologías, conclusiones coherentes con la estrategia de riego.

Palabras clave: estado hídrico, vides, isótopos estables, Mendoza

Abstract

In the province of Mendoza, faced with climate change, water restrictions and various irrigation strategies; It is necessary to have reliable indicators of the water status of the vines.

Our study proposes to work with stable isotopes, to compare the $\delta^{13}\text{C}$ with foliar water potentials of pre-dawn (Ψ_{pd}) and noon (Ψ_{md}). We worked on a *Vitis vinifera* L. cv Malbec vineyard, with drip irrigation 100% ETc. The experimental design was defined with five treatments: (TE), Control; (NG), anti-hail black grembiule installation; (PG), pearl grembiule installation; (NM), black modified grembiule installation and (PM), pearl modified grembiule installation. During the 2020 veraison-harvest stage, ten pre-dawn and eleven midday water potential measurements were recorded. The data were processed and analyzed from means per treatment. At harvest, samples of 50 berries per plot were formed, dehydrated and reduced in size to process $3 \pm 0.5 \mu\text{g}$. $\delta^{13}\text{C}$ was measured per plot with mass spectrometer.

From the analysis of the results, no final regression model was obtained in the operating ranges. The interpretation of the thresholds determined that the crop had presented mild or absent water restriction, by both methodologies, conclusions consistent with the irrigation strategy.

Keywords: water stress, vineyards, stable isotopes, Mendoza.

1. Introducción

El cambio climático lleva a nuestra sociedad a la necesidad de desarrollar técnicas para mitigar los problemas que surgen de nuevos escenarios. En la región de Cuyo, el clima es árido, continental y típicamente templado, con un registro promedio de precipitación de 200 mm en Mendoza y 100 mm en San Juan. La actividad agropecuaria depende del sistema de riego, con agua captada de ríos y de acuíferos, cuyos caudales son abastecidos por los deshielos de alta montaña. Durante los últimos 10 años, la región viene sufriendo una disminución paulatina del caudal de sus ríos, fruto del calentamiento global y la reducción névea, llegando en el caso de Mendoza, según datos del Departamento General de Irrigación (DGI), a la peor situación hídrica de los últimos 33 años, con un 30% menos de agua que el promedio histórico (Galmarini, 2020), que se manifiesta en una disminución de agua para el riego de cultivos. La crisis hídrica con caudales mínimos históricos y con perspectiva de no mejorar en los próximos años, fomenta como medida de mitigación, el desarrollo de técnicas que permitan el ahorro y uso eficiente del agua de riego (Ciancaglini et al., 2015). El déficit hídrico afecta la productividad y origina diversas respuestas en los cultivos, como mecanismos de protección para la preservación de la turgencia y contenido de agua a nivel celular, tales como: ajustes o variaciones estomáticos, de conductancia hidráulica, de área foliar y de elasticidad de los tejidos (Vila et al., 2013). Las plantas responden al impacto de las tensiones ambientales, particularmente el calor y la sequía, por cambios en la fotosíntesis y metabolismo, que se reflejan en la composición del isótopo de carbono ($\delta^{13}\text{C}$) de los tejidos y la estequiometría de metabolitos primarios y secundarios (Spangenberg et al., 2020).

En la provincia de Mendoza, la vitivinicultura es una de las principales actividades económicas (Fruitos et al., 2018). Este proyecto tiene el objeto de explorar herramientas analíticas que faciliten la cuantificación del estado hídrico de los viñedos. Malbec (*Vitis vinifera* L.cv Malbec) es altamente sensible a la deficiencia de agua y también

Nos proponemos evaluar el potencial de la discriminación de isótopos estables como instrumento de medición del estado hídrico de las cepas, y comparar esta metodología con el potencial hídrico foliar de pre amanecer y mediodía; de acuerdo a técnica Schölander. Este método determina las relaciones hídricas de los tejidos vegetales con aplicación en condiciones de campo (Busso, 2008) y es la variable más utilizada para la

es la variedad de uva tinta más importante de la vitivinicultura argentina (González et al., 2019). Ante el cambio climático, por lo tanto, existe la necesidad de desarrollar marcadores de la tensión temprana del agua en las plantas para optimizar la gestión hídrica y reducir los efectos adversos en el rendimiento de los cultivos. En este contexto, exploramos el potencial de los valores de $\delta^{13}\text{C}$, como indicador temprano de déficit de agua.

Las variaciones en los valores de $\delta^{13}\text{C}$ de la planta revelan la respuesta de las mismas a las condiciones ambientales globales y locales (Farquhar et al., 1982; Brugnoli et al., 1988; Cernusak et al., 2013). El mecanismo fisiológico que subyace a la hoja $\delta^{13}\text{C}$ en el enriquecimiento en las plantas deficientes en agua se atribuye a la regulación negativa de la conductancia estomática (GS) y el aumento de la eficiencia del uso del agua (WUE) (Farquhar et al., 1982, 1989). Una de las metodologías de evaluación del estatus hídrico vegetal es a través del análisis de la composición isotópica de carbono (C), que se expresa en términos de $\delta^{13}\text{C}$ en unidades de partes por mil o ‰ (Werner et al., 2012). La misma se basa en que cuando las plantas no tienen limitantes hídricas mantienen sus estomas abiertos, por lo cual la tasa de ingreso de CO_2 a la planta será máxima. Bajo estas condiciones, el CO_2 de la cavidad estomática estará enriquecido en ^{12}C respecto al aire, ya que el isótopo pesado ($^{13}\text{CO}_2$) presenta una menor velocidad de difusión que el liviano ($^{12}\text{CO}_2$) (Farquhar et al., 1989). Además, durante la fotosíntesis de plantas C_3 la enzima carboxilante RUBISCO (ribulosa-1,5-bisfosfato carboxilasa/oxigenasa) también discrimina en contra del isótopo pesado (^{13}C). En cambio, cuando hay déficit hídrico, los estomas se cierran, cesa el flujo de CO_2 y la enzima RUBISCO utiliza una mayor proporción de ^{13}C (Brüggemann et al., 2011). Por lo tanto, las plantas tienden a enriquecerse en ^{13}C a medida que aumenta el nivel de déficit hídrico. Estas relaciones entre el valor de $\delta^{13}\text{C}$ de la planta y su estatus hídrico han sido útiles para revelar los mecanismos que permiten a las distintas especies ajustar su metabolismo para competir mejor y sobrevivir en determinados ambientes (Ehleringer y Cooper, 1988; Ehleringer, 1993).

evaluación del estado del agua en las plantas (Williams y Araujo, 2002; Schultz, 2003).

2. Materiales y métodos

El trabajo consta de dos líneas, por una parte, la medición de potencial hídrico foliar y por otro la medición de los valores de isótopos estables de C y N. Para esto se armó un diseño de muestreo. El ensayo se llevó a cabo en la Estación Experimental

Agropecuaria (EEA) de Rama Caída, San Rafael, Mendoza, Argentina; perteneciente al Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA) y laboratorio LIECA-UTN Facultad Regional San Rafael. El sitio experimental se encuentra ubicado en calle El Vivero s/N° (San Rafael, Mendoza). Se muestreó vid varietal cv. Malbec sobre pie franco, dispuestos en veinticinco hileras de ciento dos metros de longitud. El sistema de conducción utilizado es espaldero alto con sistema de poda en cordón bilateral pitoneado. El marco de plantación es de 2,5 m entre hileras con orientación noreste-suroeste ($24^{\circ} 8' 45,46''$ de inclinación) y 1,50 m entre plantas. La poda se realiza a ocho pitones con dos yemas por planta. El sistema de riego por goteo. El diseño experimental se definió de acuerdo a la homogeneidad de plantas en el viñedo, basado en el peso de poda. Se estableció trabajar en bloques aleatorios con cinco tratamientos de ensayos, de acuerdo a: Tratamiento 1 (TE), Testigo (sin protección antigranizo); Tratamiento 2 (NG), Malla antigranizo Negra, instalada en sistema grembiule; Tratamiento 3 (PG), Malla antigranizo Perla, instalada en sistema grembiule; Tratamiento 4 (NM), Malla antigranizo Negra, instalada en sistema grembiule modificado y Tratamiento 5 (PM), Malla antigranizo Perla, instalada en sistema grembiule modificado. Cada tratamiento está conformado por cinco unidades experimentales de quince cepas cv. Malbec. Al inicio de enero, se procedió a marcar con cinta las plantas en las cuales se iban a realizar los ensayos de muestreo de baya y hojas. Dentro de cada parcela, se eligieron cinco individuos sanos de las borduras, derecha e izquierda, de forma tal de minimizar los tiempos de recorrido. Se diagramó un recorrido con seis entradas, a fin de reducir tiempos de muestreo, orientación oeste-este. Para la determinación del potencial hídrico, se seleccionó una hoja madura, sana, de la zona media y asoleada por planta, de acuerdo al diagrama de recorrido. Se cortó y trasladó rápidamente en doble bolsa, transparente y negra, al resguardo de la luz

A partir de la aplicación de modelos matemáticos y físicos, se procesaron los registros de potencial hídrico foliar de pre-amanecer y mediodía, con el fin de poder relacionarlos con datos puntuales de $\delta^{13}\text{C}$ de las mismas unidades experimentales.

Por último, se trabajó con softwares informáticos (Excel, Infostat) con el fin de verificar la existencia de correlación entre los datos de potencial hídrico foliar y $\delta^{13}\text{C}$ a partir del cotejo de los valores del coeficiente de Pearson y covarianza de las funciones resultantes. Se analizó la variabilidad de los datos, a partir de gráficos de barras de error, para analizar la precisión de las determinaciones.

3. Resultados y Discusión

asegurando el cierre de los estomas de la hoja. En la mesa de medición, se recortó el pecíolo. Se midió el potencial hídrico foliar de acuerdo a la técnica Schölander, en pre-amanecer, mediodía y curva diaria. El procedimiento se realizó en el período de 1,25 horas desde la primera a la última medición. Los resultados obtenidos, se registraron en una planilla de campo, y posteriormente se cargaron en base de datos Excel.

Para la medición de los isótopos estables se manipuló el material vegetativo con guantes de nitrilo para evitar contaminación cruzada. La muestra se conformó de 50 bayas con pedicelo, seleccionando 10 bayas por planta ubicadas en parte superior, media e inferior del racimo. El material se almacenó en bolsa rotulada con número de parcela en conservadora previo al registro de peso. Luego se unificó el largo del pedicelo. Se colocaron en horno de deshidratación a 55°C y caudal de aire transversal, 19 Hz, durante 187 horas hasta registrar peso constante y actividad acuosa promedio de 0,28. La molienda de las mismas se realizó en molino de café Moulinex de acero inoxidable, con capacidad de 50 gramos, 180 watts; y se envasaron en bolsas estériles con cierre hermético. La determinación de $\delta^{13}\text{C}$, se llevó a cabo en el Laboratorio de Isótopos Estables en Ciencias Ambientales (UTN-FRSR & CONICET). Para la medición de isótopos estables, se pesó $3\pm 0,5\mu\text{g}$ de muestra en balanza analítica Mettler Toledo AT20 10/2 μg sobre microcápsula de estaño $6\times 4\text{ mm}$ de 97,5% de pureza. La medición se realizó con los valores de $\delta^{13}\text{C}$, y se calcularon utilizando el estándar V-PDB, mientras que el de $\delta^{15}\text{N}$ se calcula con el estándar AIR (Samec *et al.* 2019). Las mediciones se obtuvieron con un espectrómetro de masas de flujo continuo Thermo Scientific DELTA V acoplado vía ConFlo IV al Analizador Elemental Flash 2000. Para este equipo la precisión analítica es de 0,1‰ para las relaciones isotópicas de carbono (V-PDB).

El nivel de déficit hídrico en las plantas se puede cuantificar utilizando potencial hídrico (Ψ), el cual refleja la tensión en la savia del xilema (Dayer *et al.*, 2020). De acuerdo a los registros, los resultados de potencial hídrico foliar medios para pre amanecer (Ψ_{pd}) y potencial hídrico foliar mediodía (Ψ_{md}), se determinaron a partir del registro por parcela, de diez y once mediciones respectivamente, durante el período enero-cosecha de la temporada 2020 (Tabla 1). Los valores máximos y mínimos, correspondientes son: (-0.19 , -0.28 MPa) Ψ_{pd} , (-1.19, -1.34 MPa) Ψ_{md} y (-26.27, -27.63 ‰) $\delta^{13}\text{C}$. Es un rango operativo acotado, de acuerdo a trabajos realizados en sistemas de manejo de riego con gradualidad del estrés hídrico a partir de porcentaje variable del ETc, reportados en Gaudillere *et al.* (2002), De Souza *et al.* (2003), Des Gachons *et al.* (2005), Van Leewen *et al.* (2009), Constantini *et al.*

(2010), Constantini *et al.* (2013), Herrero-Langreo *et al.* (2013), Santesteban *et al.* (2011), Santesteban *et al.* (2011).

En el caso del pre amanecer, la planta ha reequilibrado su estado hídrico con la reserva de agua de la fracción de suelo utilizable por las raíces funcionales, indicando el estado hídrico real de la planta en un momento dado durante el curso de su ciclo de desarrollo (Deloire *et al.*, 2006). La fracción del agua disponible total que un cultivo puede extraer de la zona radicular sin experimentar estrés hídrico es denominada agua fácilmente aprovechable en el suelo. Cuando la disponibilidad de agua no es un factor limitante, existen otros factores ambientales, como la alta temperatura y la baja humedad relativa (HR), que pueden limitar la apertura estomática (Santesteban *et al.*, 2014). Este factor se ve reflejado en las mediciones de potencial hídrico de mediodía, con una desviación estándar promedio de 0.14, y pre amanecer 0.08. El potencial hídrico foliar al mediodía proporciona una evaluación precisa del estado hídrico de la vid y, por lo tanto, sería útil para validar otras medidas de monitoreo del estado hídrico de la vid o como herramienta en un programa de manejo de riego. (Levin *et al.*, 2020). En los horarios de medición de 12:15 hs a 13:15 hs se registró un aumento de temperatura máximo en las fechas de medición de 3.43°C, media de 1.37°C. Y en horario de 4:30 hs a 5:30, correspondiente a mediciones de pre amanecer, la máxima variación de temperatura fue de 2.13°C, y media de 1.01°C; lo que demuestra la variabilidad del potencial hídrico en idénticas condiciones de riego y cepas correspondientes a los mismos tratamientos. De acuerdo al análisis de medias por tratamiento para pre amanecer (figura 1), se observa que las cepas con sistemas de colocación idénticos, tienen estados hídricos similares. Todos los resultados de las mediciones, se encuentran en umbrales de desarrollo vegetativo normal (Bernard *et al.*, 2004; Deloire *et al.*, 2006; Dayer *et al.*, 2020). Las mediciones del potencial hídrico pre-amanecer presentan la ventaja de ser estables, independientes de las condiciones climáticas, y altamente relacionadas con el estado hídrico del suelo en las vecindades de las raíces (Deloire *et al.*, 2020). En función de las medias de potencial hídrico foliar de mediodía (figura 2), las parcelas con sistema de cobertura negro y perla grembiule, tienen resultados semejantes; al igual que las cepas sin cobertura y protección de color perla con sistema de colocación grembiule modificado. Los umbrales se encuentran en un rango de estrés hídrico moderado (Vila *et al.*, 2014). La medición del potencial hídrico foliar a mediodía no se recomienda como ayuda al soporte para la toma de decisiones en horarios de riego, puesto que es altamente sensible a las fluctuaciones del microclima que rodea a las hojas (Deloire *et al.*, 2020). Conforme al análisis de potencial hídrico

foliar, pre amanecer y mediodía, los resultados fueron similares a los obtenidos por Vallone (1998), a nivel provincial en el mismo varietal.

Como durante las fases de sequía, numerosas variables participan para determinar la respuesta de la vid al estrés hídrico, necesitamos identificar e integrar aquellas que mejor describan la tolerancia a la sequía en cada variedad (Dayer 2020).

Esto garantiza fotosíntesis, crecimiento vegetativo, desarrollo de baya y maduración normales (Carbonneau, 1998; Bernard *et al.*, 2004; Deloire *et al.*, 2006; Dayer *et al.*, 2013).

Los valores de $\delta^{13}\text{C}$, se analizaron en muestras de baya seca con incertidumbre 0,1‰ (Tabla 1). Al analizar los valores de potencial hídrico foliar medios para las relaciones isotópicas de carbono (V-PDB) de cada parcela, no demostraron relación lineal significativa entre las variables en el rango de valores registrado durante la temporada 2020 (figura 4 y 5). En el reducido rango de medias por tratamiento, en el estudio de potenciales hídrico foliar pre amanecer (de -0.19 a -0.28 MPa), y mediodía (-1.34 a -1.19 MPa); no proporcionan las condiciones óptimas para obtener una relación matemática con el $\delta^{13}\text{C}$. Sería necesario trabajar con distintos niveles de programas de riego en función de la evapotranspiración del cultivo, ETc; para poder analizar las relaciones lineales entre ambos métodos, como ensayos de Van Leeuwen *et al.*, (2009); Ferreyra *et al.*, (2003) y Santesteban *et al.*, (2015).

La importancia de $\delta^{13}\text{C}$ no puede relacionarse con su uso para la programación del riego, ya que constituye un parámetro integrador que no brinda información sobre el estado hídrico actual del cultivo. Sin embargo, se ha demostrado que tiene otras aplicaciones prácticas en el modelado (Santesteban *et al.* 2009), la viticultura de precisión (Van Leeuwen *et al.* 2009, Costantini *et al.* 2010, Santesteban *et al.* 2013) o incluso para extrapolar el estado del agua a una escala de denominación (Martínez-Vergara *et al.* 2014). Las mediciones del estado del agua en estas disciplinas no suelen ser factibles, ya que se deben considerar grandes conjuntos de datos, pero un parámetro integrador es muy significativo (Santesteban *et al.*, 2015).

Teniendo en cuenta los manejos del recurso hídrico en las vides, escasez de agua y condiciones climáticas, es necesario considerar parámetros de evaluación integradores. Las prácticas de ahorro de agua relacionadas con los métodos de riego, la gestión y programación del riego, la gestión de cultivos, la teledetección, mantos de cobertura y la

gestión del suelo, son prácticas que generan ahorros de agua de hasta un 20%, lo que a nivel de cuencas hidrográficas puede resultar en volúmenes de agua significativos (FAO56, 2021). La aplicación de $\delta^{13}C$ como indicador de estado hídrico en vides en la región de San Rafael, reviste carácter de importancia en la prosecución de sus estudios, frente a la necesidad de optimización para la aplicación de prácticas que involucren una gran cantidad de combinaciones posibles (por ejemplo, área humedecida en microirrigación, espaciado y orientación de hileras, densidad de plantas, diferentes tipos de coberturas, recolección de agua en el campo) y para estrategias como riego deficitario que tienen como objetivo equilibrar la productividad del agua, la economía (FAO56, 2021)

7	3.00	-0.241	-1.24	-26.68
8	2.00	-0.211	-1.26	-27.19
9	4.00	-0.243	-1.27	-27.25
10	3.00	-0.213	-1.22	-26.68
11	5.00	-0.24	-1.31	-26.60
12	5.00	-0.255	-1.32	-26.27
13	3.00	-0.202	-1.24	-27.40
14	5.00	-0.228	-1.23	-27.09
15	1.00	-0.238	-1.28	-26.99
16	3.00	-0.197	-1.20	-26.97
17	2.00	-0.192	-1.22	-27.18
18	4.00	-0.24	-1.22	-27.58
19	4.00	-0.244	-1.19	-27.28
20	2.00	-0.189	-1.19	-27.63
21	3.00	-0.225	-1.19	-27.21
22	1.00	-0.227	-1.27	-27.23
23	5.00	-0.225	-1.23	-26.66
24	4.00	-0.231	-1.28	-26.83
25	1.00	-0.244	-1.26	-27.23

Tabla 1. Resultados de Medias Potencial hídrico foliar pre amanecer (Ψ_{pd}), Potencial hídrico foliar mediodía (Ψ_{md}) y $\delta^{13}C$.

ID Parcela	Tratamiento	Potencial hídrico foliar preamanecer (Ψ_{pd})	Potencial hídrico foliar mediodía (Ψ_{md})	$\delta^{13}C$
1	2.00	-0.207	-1.21	-27.53
2	4.00	-0.25	-1.32	-27.63
3	5.00	-0.254	-1.34	-27.06
4	1.00	-0.281	-1.32	-27.51
5	2.00	-0.207	-1.22	-26.98
6	1.00	-0.267	-1.31	-26.90

El déficit hídrico, desde el envero hasta la cosecha en todos los tratamientos en relación con el $\delta^{13}C < -26\%$, ha sido débil o nulo (Van Leeuwen et al., 2009) (Santesteban et al., 2015). Estos valores indicarían el mismo resultado obtenido a partir del monitoreo periódico con el potencial hídrico foliar pre amanecer y mediodía, lo cual valida el uso de $\delta^{13}C$ como indicador de estado hídrico a posteriori en cultivos *Vitis vinífera* L.cv Malbec, en San Rafael.

Potencial Hídrico Foliar: De acuerdo al análisis de modelos lineales generales y mixtos para los valores de potenciales hídricos foliares de mediodía, presentan medias ajustadas y errores estándares para cada tratamiento

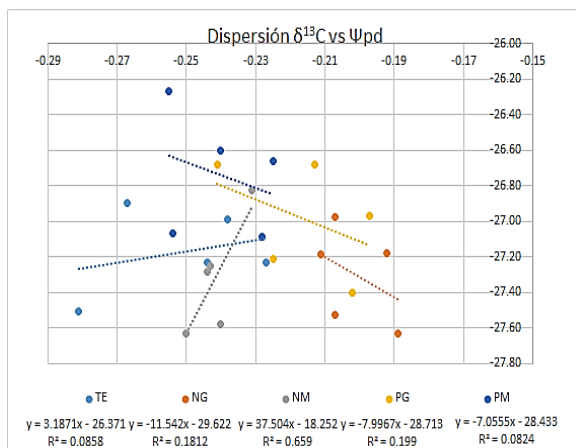


Figura 4. Dispersión potencial hídrico foliar de pre amanecer vs relación isotópica de carbono

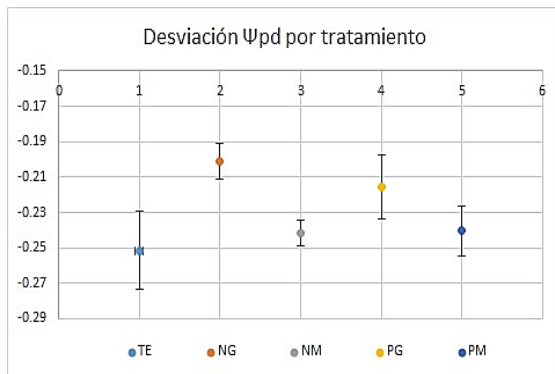


Figura 1. Desviaciones estándar para medias de potenciales hídricos foliares de pre amanecer por tratamiento.

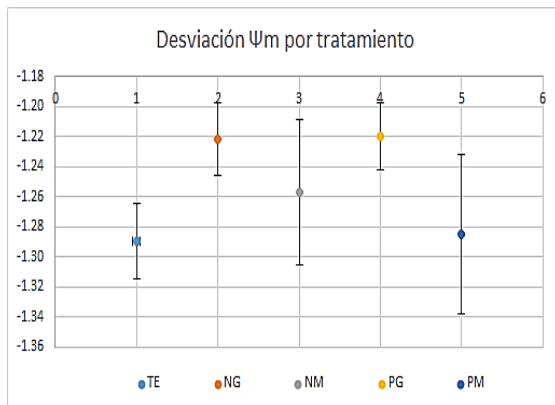
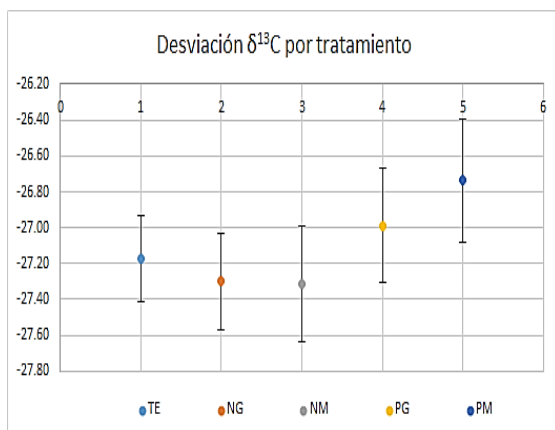


Figura 2. Desviaciones estándar para medias de potenciales hídricos foliares de mediodía por tratamiento.

Figura 3. Desviaciones estándar para las relaciones



isotópicas de carbono por tratamiento.

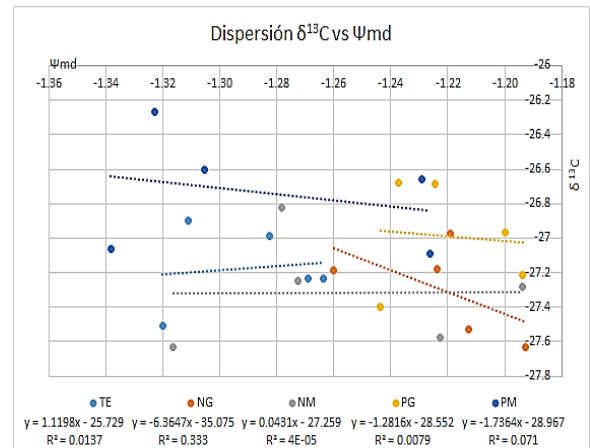


Figura 5. Dispersión potencial hídrico foliar de mediodía vs relación isotópica de carbono.

Conforme a las desviaciones estándares observadas en las figuras 1 y 2., existe mayor variabilidad en las determinaciones de mediodía. Las referencias para interpretar las gráficas son: TE (testigo), NG (color negro, sistema grembiule), NM (color gris, sistema grembiule modificado), PG (color amarillo, sistema grembiule) PM (color azul, sistema grembiule modificado). Los valores obtenidos demuestran la sensibilidad del potencial hídrico foliar de mediodía a condiciones ambientales en un determinado tiempo. Es por esta razón que el tiempo máximo establecido para la toma de muestras, fue de 1.25 horas.

En el análisis de desviaciones estándares para $\delta^{13}C$ (figura 3), si bien se observa solapamiento entre valores de los distintos tratamientos, se pudo analizar que el umbral corresponde a manejo de viñedos sin estrés hídrico. Esta medida integra el comportamiento de las cepas durante toda la etapa de formación, crecimiento y desarrollo de las bayas. Por lo que se lo considera un indicador integrador, y no instantáneo como el potencial hídrico foliar. Se cree que la variable temporal es una de las razones principales, por la que no existe una relación lineal entre ambos métodos (figura 4 y 5), ya que el balance hídrico está influenciado por las condiciones climáticas, características del suelo y demanda hídrica del cultivo; y estas varían en función del tiempo.

4. Conclusiones

De acuerdo a los valores de potencial hídrico foliar de pre amanecer y mediodía, existe correspondencia con umbrales de la escala de $\delta^{13}C$, pero no presentan relaciones lineales. Cabe destacar la dependencia temporal por parte del potencial hídrico foliar, y variabilidad en los valores de medición en la franja horaria recomendada, afectados por las condiciones ambientales, tales como temperatura, humedad relativa ambiente y radiación. Comparado con el

carácter integrador de la relación isotópica de C durante todo el ciclo vegetativo de la baya.

Los indicadores hacen referencia a una temporada de desarrollo envero-cosecha 2020 sin estrés hídrico. Estos resultados son acordes al programa de riego por goteo, planteado en función del 100 % ETo. Los valores $\delta^{15}\text{N}$ no se analizaron en el presente informe, debido a que no representa relación con el estado hídrico de las cepas.

De acuerdo a los resultados obtenidos, en función de la primera experiencia de la aplicación de $\delta^{13}\text{C}$ en la zona, es de suma importancia ampliar su estudio como indicador integrador de evaluación del estado hídrico de las plantas y manejo de riego en los viñedos, a fin de complementar las herramientas disponibles a los viticultores en la región. También se debe considerar su implementación en control de calidad de materia prima en procesos de vinificación.

5. Referencias

- Aguilera, M.; Voltas, J; Ferrio, J.P.; Serrano, L. (2010). *Evolución estacional de $\delta^{13}\text{C}$ en hojas y madera de dos quercíneas mediterráneas concurrentes: dinámica de la eficiencia en uso del agua*. Redalyc. Vol. 19, núm. 3, pp. 6-13.
- Alvarez Gonçalvez, C.V.; Pinto, M.; Estrella, J.; Gennari, A. (2017). *Agua y Sociedad*. 1a ed. especial. Lajouane. ISBN 978-950-9580-22-0. Buenos Aires. Argentina.
- Bchir, A.; Escalona, J. M.; Galléc, A.; Hernández-Montes, E.; Tortosa, I.; Brahama, M.; Medrano, H. (2016). *Carbon isotope discrimination ($\delta^{13}\text{C}$) as an indicator of vine water status and water use efficiency (WUE): Looking for the most representative sample and sampling time*. Agricultural Water Management, vol. 167, pp. 11-20.
- Bota, J.; Thomás, M.; Flexas, J.; Medrano, H.; Escalona, J.M. (2015). *Differences among grapevine cultivars in their stomatal behavior and water use efficiency under progressive water stress*. Agricultural Water Management, vol. 164, Part 1, pp. 91-99.
- Brillante, L.; Mathieu, O.; Lévêque, J.; Van Leeuwen, C.; Bois B. (2017). *Water status and must composition in grapevine cv. Chardonnay with different soils and topography and a mini meta-analysis of the $\delta^{13}\text{C}$ /water potentials correlation*. J Sci Food Agric, vol. 98, pp. 691-697.
- Charrier, G.; Delzon, S.; Domec, J.C.; Zhang, L.; Delmas C.; Merlin, I.; Corso, D.; Andrew 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: ea06969.
- Costantini, S.; Pellegrini, P.; Bucelli, R.; Barbetti, S.; Campagnolo, P.; Storchi, S.; Magini, R. (2010). *Mapping suitability for Sangiovese wine by means of $\delta^{13}\text{C}$ and geophysical sensors in soils with moderate salinity*. E.A.C. Europ. J. Agronomy 33, pp. 208-217.
- 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, 4333–4344.
- Dayer, S.; Gowdy, M.; van Leeuwen, C.; Gambetta, G. (2020). *Potenciar la respuesta de la vid a la sequía para incrementar la sostenibilidad del viñedo*. International viticulture and Enology Society. DOI: <https://doi.org/10.20870/IVES-TR.2020.4482>. Francia.
- Dayer S, Prieto JA, Galat E, Perez Peña J. (2013). *Carbohydrate reserve status of Malbec grapevines after several years of regulated deficit irrigation and crop load regulation*. Australian Journal of Grape and Wine Research 19, pp. 422–430.
- Dayer S, Reingwirtz I, McElrone AJ, Gambetta GA. (2019). *Response and recovery of grapevine to water deficit: from genes to physiology*. In: Cantu D, Walker MA, eds. The grape genome. Cham: Springer, pp. 223–245.
- Deloire, A.; Ojeda, H.; Zebic, O.; Bernard, N.; Hunter, J.J.; Carbonneau, A. (2006). *Influencia del estado hídrico del viñedo en el tipo de vino*. Infowine, Revista internet de viticultura y enología, 11, pp. 1-8.
- Deloire, A.; Pellegrino, A.; Rogiers, S. (2020, Junio) *Unas pocas palabras sobre el potencial hídrico foliar de la vid*. IVES Technical Reviews - June 2020. <https://doi.org/10.20870/IVES-TR.2020.3620>.

- Farquhar, G.D., Ehleringer, J.R., Hubick, K.T. (1989). *Carbon isotope discrimination and photosynthesis*. Annu. Rev. Plant Physiol. Plant Mol. Biol. 40, pp. 503–537.
- FAO56 (2021). *Updates and advances to the FAO56 crop water requirements method*. Agricultural Water Management 248 (2021) 106697.
- Felipe Medina, N.; Herranz, M. (2013). *Uso de isótopos estables en investigaciones en ecología*. Ambiociencias Universidad de León, n°11.
- Ferreira E., R.; Selles, V., G.; Ruiz S., R.; Selles M., I. (2003). *Efecto del estrés hídrico aplicado en distintos períodos de desarrollo de la vid cv. Chardonnay en la producción y calidad del vino*. Agric. Téc. [online]. 2003, vol.63, n.3, pp. 277-286. ISSN 0365-2807. <http://dx.doi.org/10.4067/S0365-28072003000300007>. Chile.
- Gambetta, G.; 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, Vol. 71, No. 16 pp. 4658–4676, 2020 doi:10.1093/jxb/eraa245.
- Gaudillère, J. P.; Van Leeuwen, C.; Ollat, N. (2002). *Carbon isotope composition of sugars in grapevine, an integrated indicator of vineyard water status*. J. Exp Bot. 2002 Apr, 53(369): 757-63. DOI: 10.1093/jxb/53.369.757. PMID: 11886896.
- Hochberg, U.; Rockwell, F. E.; Holbrook, N. M.; Cochard, H. (2018). *Iso/anisohydry: a plant– environment interaction rather than a simple hydraulic trait*. Trends in Plant Science, 23(2), 112-120
- Intrigliolo, D.S.; Lizama, V.; García-Esperanza, M.J.; Abrisqueta, I.; Álvarez, I. (2016). *Effects of post-veraison irrigation regime on Cabernet Sauvignon grapevines in Valencia, Spain: Yield and grape composition*. Agric. Water Manage. (2015), <http://dx.doi.org/10.1016/j.agwat.2015.10.020>.
- Levin, A. D., Williams, L. E., & Matthews, M. A. (2020). *A continuum of stomatal responses to water deficits among 17 wine grape cultivars (Vitis vinifera)*. Functional Plant Biology, 47(1), 11-25.
- Liotta, M. (2019). *Cuyo: cómo producir cuando el recurso hídrico es escaso*. [Ministerio de Agricultura, Ganadería y Pesca Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria](http://www.mincagri.gub.uy).
- Lucero, C.; Di Filippo, M.; Vila, H.; Venier, M. (2017). *Comparación de las respuestas al estrés hídrico y salino de los portainjertos de vid 1103P y 101-14Mgt, injertados con Cabernet Sauvignon*. Rev. FCA UNCUYO. 2017. 49(1): 33-43. ISSN impreso 0370-4661. ISSN (en línea) 1853-8665.
- Martínez, A.; Galarza, R.; Intrigliolo, D.S.; Marín, D.; Gonzaga, L. (2018). *El ratio isotópico de carbono en viticultura: fundamentos de la técnica y utilidades*. ACE: Revista de enología, ISSN-e 1697-4123, N° 165. España.
- Martínez-Vergara, A., Payan, J.C., Salançon, E. and Tisseyre, B. (2014). *Spider- δ : an empirical method to extrapolate grapevine (Vitis vinifera L.) water status at the whole denomination scale using $\delta^{13}C$ as ancillary data*. Journal International des Sciences de la Vigne et du Vin 48, 129– 140. Francia.
- Medrano, H.; Bota, J.; Cifre, J.; Flexas, J.; Ribas-Carbó, M.; Gulías, J. (2007). *Eficiencia en el uso del agua por las plantas*. UA Revistes Científiques, vol. 43, pp. 63-84. DOI: <https://doi.org/10.14198/INGEO2007.43.04>
- Myers, B.J. (1988). *Water stress integral –a link between short- term stress long-term growth*. Tree Physiology 4, pp. 315-323.
- Ojeda, H. (2007). *Riego cualitativo de precisión en vid*. Enoforum, pp. 13-15. Italia
- Pitillo, M.P. (2008). *Manejo del riego: uso de instrumentos de medición de agua del suelo y del estado hídrico de los cultivos, presentación de casos de estudio incluso en riego deficitario*. Jornadas sobre “Ambiente y Riegos: Modernización y Ambientalidad”. España.
- Santesteban, L.G.; Miranda, C., Urretarazu, J., Vizcaya, I.; Royo, J.B. 2014. *El ratio isotópico del carbono ($\delta^{13}C$) como método de integración a posteriori del estado hídrico del viñedo*. I Jornadas del Grupo de Viticultura y Enología de la Sech – Retos Actuales de I+D en Viticultura, pp. 146-152, Navarra, España.
- Santesteban, L.G.; Miranda, C.; Urretarazu, J.; Loidi M.; Royo, J.B. (2017). *Severe trimming and enhanced competition of laterals as a tool to delay ripening in Tempranillo vineyards*

under semiarid conditions. *OENO One*. 2017;51(2):191-203. doi:10.20870/oenone.2016.0.0.1583. España

Santesteban, L.G.; Di Gennaro, S.F.; Herrero-Langreo, A; Miranda, C.; Royo, J.B.; Matese, A. (2017). *High-resolution UAV-based thermal imaging to estimate the instantaneous and seasonal variability of plant water status within a vineyard*. *Agric Water Manag.* 2017;183:49-59. España.

Spangenberg, J.E. *et al.* (2020). *Shifts in carbon and nitrogen stable isotope composition and epicuticular lipids in leaves reflect early water-stress in vineyards*. *Science of the Total Environment* 739 140343

Souza, C.; Maroco, J.; Dos Santos, T.P.; Rodrigues, M.L.; Lopes, C.M.; Pereira, J.S.; Chaves, M. (2005). *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*, vol. 56, No 418, pp. 2163-2172, DOI:10.1093/jxb/eri216. Portugal.

Vallone, R. C. (1998). *Influencia del estado hídrico sobre desarrollo, rendimiento y calidad enológica en vid*. Tesis Maestría. Facultad de Ciencias Agrarias. Universidad Nacional de Cuyo.

Vallone, R. C. (2004). *Proceedings of the International symposium on irrigation and water relations in grapevine and fruit trees*. International Symposium on Irrigation and Water Relations in Grapevine and Fruit Trees. Mendoza: International Society for Horticultural Science. Mendoza, Argentina.

Van Leeuwen, C. (2018). *Terroir: The effect of the physical environment on vine growth, grape ripening and wine sensory attributes*. DOI:10.1533/9781845699284.3.273

Vila, H.; Pérez Peña, J.; Cavagnaro, J.B. (2013). *Evitación del estrés en la vid: estrategias varietales frente al déficit hídrico*. Repositorio.inta.gob.ar. INTA. Argentina.

Vila, H.F.; Paladino, S.C.; Nazralla, J.J.B.; Lucero, N. (2010). *Manual de calidad de uva. Guía práctica para conocer y evaluar la calidad de uva para vino*. 1ra Edición, Ediciones INTA, 2010. ISBN 978-987-1623-78-5. Luján de Cuyo, Mendoza, Argentina.

Villalobos-González, L., Muñoz-Araya, M., Franck, N., & Pastenes, C. (2019). *Controversies in midday water potential regulation and stomatal behavior might result from the environment, genotype and/or roostock: evidence from Carménère and Syrah grapevine varieties*. *Frontiers in plant science*, 10, 1522. Chile.