

# Composición isotópica del agua como un indicador del vigor de la planta a nivel de parcela

## Water isotopic composition as a plant vigor indicator at plot level

G. Pereyra<sup>1,2,a</sup>, E. Casaretto<sup>2</sup>, O. Borsani<sup>2</sup>, and M. Ferrer<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Departamento de Producción Vegetal, Facultad de Agronomía, UdelaR, Garzón 780, 12900, Uruguay

<sup>2</sup> Departamento de Biología Vegetal, Facultad de Agronomía, UdelaR, Garzón 780, 12900, Uruguay

**Resumen.** La viticultura de precisión es una herramienta performante para la gestión del vigor intra parcelario. En una parcela de 1,1 hectáreas de un viñedo comercial de la variedad Tannat, implantado en clima sub- húmedo, en donde delimitó dos zonas de vigor (alto y bajo). Uno de los factores determinantes de dichas diferencias de vigor, sería la diferencia en el contenido de agua en el suelo. Para demostrar esta hipótesis se instalaron parcelas por cada nivel de vigor en las cuales se realizó un seguimiento del estado de hidratación de las plantas mediante el potencial hídrico foliar de base ( $\Psi_f$ ). Se determinó la composición isotópica ( $\delta^{18}\text{O}$ ) en agua de hojas y mosto. Se demostraron correlaciones significativas entre  $\Psi_f$  y OI. Las medidas de  $\delta^{18}\text{O}$  en hojas brindaron un dato puntual del contenido de agua, en tanto que las del mosto describieron la evolución del estado de hidratación de la planta durante el ciclo del cultivo. El  $\delta^{18}\text{O}$  podría ser una forma rápida de identificación de zonas de diferente vigor y que permitiría determinar a escala parcelaria las diferencias existentes en el suelo en el contenido hídrico y gestionar de manera más eficiente el recurso agua.

**Palabras clave:** ratio isotópico,  $\delta^{18}\text{O}$ , estrés hídrico, viticultura de precisión, *Vitis vinifera* L.

**Abstract.** High precision viticulture is a high impact tool for vigor management at intra plot level. In a plot of 1.1 hectares of a commercial vineyard of the Tannat variety, implanted in sub-humid climate, where it delimited two zones of vigor (high and low). A key parameter in the definition of the vigor zones was the water content in the soil. For each vigor, zone three sub-plots were defined in order to study the influence of the water content in the soil. The sub-plots were defined by its vigor level and each zone. The hydration status of each plant in the sub-plot was analyzed from base leaf water potential measurements ( $\Psi_f$ ). The isotopic water composition ( $\delta^{18}\text{O}$ ), was measured at leaves and must. A high significant correlation between  $\Psi_f$  and  $\delta^{18}\text{O}$  was obtained. The leaf  $\delta^{18}\text{O}$  measurements gave punctual data for the water content; however, the must  $\delta^{18}\text{O}$  gave a measurement of the hydration state of the plant during the harvest cycle. OI measurements allow a fast evaluation of the soil water content at a small scale (plot level) and the identification of the vigor zones. This evaluation could lead to a better and efficient management of the water resource in the vineyard.

**Key words:** isotopic ratio,  $\delta^{18}\text{O}$ , water stress, viticulture precision, *Vitis vinifera* L.

## 1. Introducción

El crecimiento y desarrollo de la vid, se encuentra muy relacionado con la humedad del suelo, siendo la disponibilidad hídrica una de las causas determinantes de la expresión del vigor [1, 2].

En Uruguay, y como consecuencia del cambio climático, se prevé una mayor variabilidad de las precipitaciones, fundamentalmente en el período de maduración de la uva, así como un aumento de la temperatura media [3].

La variabilidad determinada en el viñedo, tiene como causas principales diferencias en la disponibilidad hídrica

(entre otros factores), que imprimen variaciones en el vigor de las plantas. Esta heterogeneidad de vigor tiene consecuencias, a la interna de un cuadro de viña en desuniformidad en el rendimiento, composición y maduración de la uva que llevan ineficiencias técnicas, económicas y ambientales [2].

Estas diferencias de vigor generan diferencias sobre el desarrollo vegetativo, equilibrio en las plantas, evolución fenológica, variabilidad del rendimiento y en la composición de la uva, así como también diferencias en la sensibilidad sanitaria [4–6].

La gestión del agua un método muy eficiente para el control del desarrollo vegetativo, así como del rendimiento y la calidad de la uva [7]. En nuestras condiciones, la alternativa de la regulación hídrica, es impedir la entrada

<sup>a</sup> e-mail: [pergusal@gmail.com](mailto:pergusal@gmail.com)

de agua al suelo, generando déficits controlados. Para lograrlo, la forma más utilizada es la cobertura del suelo con polietileno. Además de limitar el aporte de agua al suelo, los polietilenos tienen diferente capacidad para absorber, reflejar y transmitir la radiación solar, lo que dependerá del color y las propiedades del mismo [8]. A su vez, las coberturas sintéticas son más impermeables al vapor de agua que las coberturas de origen orgánico, conservando mejor la humedad del suelo [8,9].

La aplicación de la viticultura de precisión, es una herramienta que le permite al productor detectar diversas zonas de productividad y calidad en una parcela [10]. Una de las herramientas que se muestran como promisorias es la utilización de isotopos estables. Dentro de los isotopos, los más utilizados son  $\delta^{13}\text{C}$ ,  $\delta^{18}\text{O}$  y  $\delta^{15}\text{N}$ .

En particular, el uso de  $\delta^{18}\text{O}$ , menos utilizado en viticultura, resulta un buen indicador para ser utilizado en la zonificación a pequeña-mediana escala, ya que integra factores de conducción del agua en la planta o también podrían permitir una mejor comprensión de la contribución del agua desde las capas superiores e inferiores en el suelo hasta la transpiración [11].

Los objetivos de este estudio, fue evaluar el uso del  $\delta^{18}\text{O}$ , como una herramienta que permita diferenciar el vigor a una escala parcelaria, así como determinar la relación existente entre este parámetro con estado hídrico.

## 2. Materiales y métodos

### 2.1. Descripción del sitio y diseño experimental

El experimento se instaló en un cuadro de 1,1 hectárea, en un viñedo comercial de la variedad Tannat (34°36'S, 56°14'W), conducido en espaldera alta, marco de plantación 2.5 × 1.2 m, con poda Guyot doble, en condiciones de secano. La información presentada corresponde a cosecha 2019. Se identificaron en dicha parcela dos zonas de diferente vigor (Alto y Bajo), a partir del cálculo y mapeo de NDVI generado de ensayos previos en dicha parcela [2], se confirmaron con medidas de campo (peso de poda y superficie foliar) la diferencia de vigor en ambas zonas (datos no presentados).

Dentro de cada vigor, se delimitaron sub-parcelas al azar a efectos de tomarlas como situación control (Alto Testigo -AT- y Bajo Testigo -BT). Por otro lado, en la condición de vigor alto, se procedió a partir del envero a restringir los aportes de agua de lluvia, mediante la cobertura del suelo con polietileno (Alto cubierto -AC-). El polietileno utilizado, es blanco en ambas caras, con protección UV y de 220 micras de espesor. Para las tres situaciones planteadas (AT, AC y BT) se delimitaron tres repeticiones de 21 plantas (63 plantas por tratamiento).

### 2.2. Variables determinadas a nivel de parcela

**Componentes del clima:** La información de las variables climáticas a nivel de parcela se obtuvieron mediante la instalación sensores de temperatura (Ibutton thermochron USA, DS ± 0.5), tres sensores por tratamiento. Se registró las precipitaciones ocurridas durante el ciclo de cultivo.

**Determinación de la humedad del suelo:** se determinó en el estado 38 de EYL, el contenido de humedad del suelo a tres profundidades (0–20 cm; 20–40 cm y 40–60 cm) por método gravimétrico [12], la

**Tabla 1.** Componente hídrico en suelo – planta.

Condición	Humedad Suelo (%)	$\Psi_{fb}$ (Mpa)	IS (Mpa*día)	PP (mm)
Alto testigo	14.13 a	-0.14 a	11.06 a	
Alto cubierto	4.66 b	-0.29 b	13.51 b	631
Bajo Testigo	9.17 c	-0.44 c	15.35 c	

Valores promedios para cada tratamiento. IS: Integral de estrés (noviembre-marzo). PP: precipitaciones efectivas durante el ciclo de crecimiento (setiembre 2018-marzo 2019). Letras diferentes en columnas, diferencias significativas según Fisher (0.05).

información de las tres profundidades fue utilizado como promedio de % de agua.

**Estado hídrico de la planta:** fue estimado a partir del potencial hídrico foliar de base ( $\Psi_{fb}$ ) mediante la técnica de Scholander [13], utilizando una cámara de presión ("Soil moisture equipment" mod. 3005 1412). En cuatro momentos en el ciclo (1- Floración, 2-Cierre de racimos, 3-100% envero y 4- próximo a maduración). Con esta información se calculó la integral de estrés [14].

**Discriminación isotópica de oxígeno ( $\delta^{18}\text{O}$ ):** Para la discriminación isotópica del oxígeno, se utilizó la técnica de medición Cavity Ring-Down Spectroscopy (CRDS) mediante un analizador Picarro L2130-i. La determinación se realizó en hojas y mosto de uva tomadas una semana previa a cosecha (25/2/2019). Tres hojas adultas y sanas, fueron colectadas por tratamiento. Para el caso de los mostos, tres muestras de 100 bayas [14] por tratamiento. Ambos tipos de muestras, fueron procesadas de forma inmediata en viales y conservados con refrigeración para evitar la pérdida de agua en forma de vapor.

**Análisis de la información:** los resultados fueron analizados utilizando varias técnicas estadísticas, que incluyeron análisis de varianza, diferencias de media por test de Fisher y coeficientes de correlación de Pearson. El paquete estadístico utilizado fue Infostat®.

## 3. Resultados y discusión

### 3.1. Componente hídrico suelo-planta

En la Tabla 1, se presenta la información del componente hídrico del suelo y la planta previo a cosecha. Los registros de precipitaciones para el ciclo 2019, muestran un acumulado de 631 mm durante todo el ciclo de cultivo lo que se corresponde con los bajos valores obtenidos de integral de estrés. A partir de los resultados obtenidos, se puede confirmar una variación espacial en el contenido de agua en el suelo y en el de las plantas, que fueron significativamente diferentes en cada situación de vigor (Tabla 1).

La condición de vigor Bajo presentó un menor porcentaje de agua en el suelo que se reflejó en plantas con un nivel de estrés moderado, frente a las plantas de vigor Alto las que no registraron estrés hídrico. Estas diferencias en el contenido hídrico, se debe a diferencias a nivel de parcela del contenido de materia orgánica y a condiciones físicas del suelo que generan dinámicas particulares en el suministro de agua a nivel de parcela [2].

Por otro lado, del total de las precipitaciones del ciclo, 280 mm, ocurrieron durante el período de maduración. La utilización de la cobertura del suelo con polietileno desde el envero, permitió para el vigor Alto, restringir la entrada

**Tabla 2.** Valores de  $\delta^{18}\text{O}$  (‰) en hoja y mosto de uva según tratamiento.

Condición	$\delta^{18}\text{O}$ (‰) Hoja	$\delta^{18}\text{O}$ (‰) Mosto
Alto testigo	4.52 ± 0.40 a	7.70 ± 0.09 a
Alto cubierto	6.82 ± 0.32 b	8.62 ± 0.11 b
Bajo Testigo	7.07 ± 0.35 b	8.89 ± 0.08 b

Valores medios más desvío estándar. Letras diferentes en columnas, diferencias significativas según Fisher (0.05).

de agua al suelo, generando una reducción del contenido hídrico durante la maduración de la uva generando plantas más estresadas. El polietileno, además de actuar como una barrera física para la entrada de agua, cambia los flujos de energía que llegan al suelo, por tratarse de un material sintético, generando una mayor temperatura del suelo bajo cobertura modificando la relación que existe entre la oferta de agua y la demanda de agua [8–15].

### 3.2. Discriminación isotópica y estado hídrico

Los valores de  $\delta^{18}\text{O}$  (Tabla 2) obtenidos en hojas y en mosto de uva fueron más bajo que lo reportado por otros autores para otras regiones y variedades [16–18]. Las diferencias en la variación de la composición del isotópica del agua de lluvia, se pueden explicar según a qué latitud, altitud y distancia del océano a las que se realicen las medidas [19].

Tanto en hoja como en mosto, los valores  $\delta^{18}\text{O}$  permitieron diferenciar significativamente las dos condiciones de vigor. Las plantas de vigor bajo presentaron un mayor enriquecimiento de  $\delta^{18}\text{O}$  que las plantas de vigor Alto. El enriquecimiento en  $\delta^{18}\text{O}$  está asociado a un mayor contenido de agua en el suelo, por lo que estas plantas presentaron una mayor relación entre el agua absorbida por las raíces y el agua evaporada [16].

El  $\delta^{18}\text{O}$  tomado en hoja si bien permite diferenciar zonas de vigor, sus resultados presentan mayor variabilidad que los datos obtenidos en el mosto. El enriquecimiento isotópico se genera durante el día como consecuencia de la transpiración de las hojas y en consecuencia de la apertura estomática [18]. Por lo tanto, las condiciones climáticas también pueden afectar los valores de  $\delta^{18}\text{O}$  obtenidos en hoja. En ese sentido se ha reportado, que las condiciones climáticas, fundamentalmente humedad relativa y el déficit de presión de vapor, son las que más afectan el enriquecimiento isotópico, al influir sobre la transpiración de las hojas [19]. Para los eventos de lluvia, se ha reportado que las hojas varían más rápidamente que las bayas [17].

Se ha reportado que el  $\delta^{18}\text{O}$  se puede relacionar con las condiciones ocurridas durante el período de maduración [20]. En este estudio, la modificación del aporte de agua debido al empleo de una cobertura, fue detectada por el  $\delta^{18}\text{O}$  diferenciando significativamente las plantas del vigor Alto. En condición de cobertura, la menor disponibilidad hídrica del suelo, generó un mayor estrés en planta y por ende una menor transpiración, lo que determinó el mayor enriquecimiento en  $\delta^{18}\text{O}$ .

Independientemente del vigor, se obtienen correlaciones altas y significativas tanto con el contenido de agua en el suelo como con  $\Psi_{fb}$  y con la integral de estrés.

Se pudo corroborar la variabilidad espacial de las causas que generan las diferencias de vigor, como por

**Tabla 3.** Coeficientes de correlación de Pearson (r) y el nivel de significancia entre los valores de  $\delta^{18}\text{O}$  y los componentes hídrico suelo-planta, según vigor.

Variable explicativa	Variable de respuesta	Coefficiente de correlación (R)	p-Valor
Vigor Alto			
$\delta^{18}\text{O}$ Hoja	Humedad de suelo (%)	-0.80	0.0534
	$\Psi_{fb}$ (MPA)	-0.95	0.0035
	IS (Mpa*día)	ns	ns
$\delta^{18}\text{O}$ Mosto	Humedad de suelo (%)	-0.74	0.0397
	$\Psi_{fb}$ (MPA)	-0.91	0.0116
	IS (Mpa*día)	0.93	0.0073
Vigor Bajo			
$\delta^{18}\text{O}$ Hoja	Humedad de suelo (%)	-0.74	0.061
	$\Psi_{fb}$ (MPA)	-0.94	0.0019
	IS (Mpa*día)	ns	ns
$\delta^{18}\text{O}$ Mosto	Humedad de suelo (%)	-0.82	0.0645
	$\Psi_{fb}$ (MPA)	-0.9	0.019
	IS (Mpa*día)	0.59	0.043

ns: no significativo.

ejemplo la disponibilidad hídrica, topografía, micro-topografía [2]. En nuestras condiciones de cultivo, el factor suelo asociado a la micro-topografía es variable a la interna de un cuadro, coexistiendo diferencias en la textura, profundidad y compacidad (datos no mostrados).

Estos resultados, confirman lo señalado por la bibliografía sobre la robustez del  $\delta^{18}\text{O}$  [11], A partir de un solo parámetro, se pudo integrar el contenido de agua del suelo, estado hídrico de la planta en un momento determinado del ciclo y la evolución de la oferta hídrica durante todo el ciclo de cultivo, lo que permite una mejor comprensión de la interfase suelo-planta-atmosfera.

Por otro lado, en este estudio, la diferenciación del  $\delta^{18}\text{O}$  de las zonas de diferente vigor dentro de una parcela de una hectárea, confirma lo planteado por Santisteban et al. [11], en lo referente a que este parámetro puede ser utilizado para la zonificación vitícola.

## 4. Conclusiones

En tanto que todas las plantas corresponden a una misma parcela y las condiciones ambientales las afectan a todas por igual, se concluye que la disponibilidad de agua en el suelo sería, en las condiciones de este ensayo, el factor determinante en el enriquecimiento de  $\delta^{18}\text{O}$ .

El  $\delta^{18}\text{O}$  en hoja resultó ser un mejor indicador sobre el estado de hidratación de la planta durante el ciclo de cultivo, en cambio en hoja, informó sobre el estado hídrico del suelo y el estatus hídrico de la planta en el momento de medición.

El  $\delta^{18}\text{O}$  es un indicador robusto que permite integrar la dinámica hídrica en el sistema suelo-planta-atmósfera.

El  $\delta^{18}\text{O}$  podría ser una forma rápida de identificación de zonas de diferente vigor y que permitiría determinar a escala parcelaria las diferencias existentes en el suelo en el contenido hídrico y gestionar de manera más eficiente el recurso agua.

Estas conclusiones surgen del análisis de información de un año, por lo que debe ser corroborado en años sucesivos para poder evaluar el efecto año. Además, en base a estos resultados se puede analizar la pertinencia de este indicador como herramienta de regionalización a nivel de meso y macro escala.

## Referencias

- [1] J. Martínez-Cassanovas, M. Ribas-Carbó, J. Gulías, Span J. Agric. Res. **10**, 326 (2012)
- [2] P. King, R. Smart, D. McClellan, Aust. J. Grape Wine Res. **20**, 234 (2014)
- [3] G. Tiscornia, A. Giménez, R. I. A. **42**, 1 (2016)
- [4] J. Culasso, A. Maresca, Tesis Fac. Agr. Montevideo 66 (2015)
- [5] M. Ferrer, G. Echeverría, G. Pereyra, G. Gonzalez-Neves, D. Pan, J. Mirás-Avalos, Prec. Agric., doi: 10.1007/s11119-019-09663-9 (2019)
- [6] I. Filippetti, G. Allegro, G. Valentini, C. Pastore, E. Colucci, C. Intrieri, J. Int. Sci. Vigne Vin. **47**, 21 (2013)
- [7] T. De Luca, *Propulsion physics* (EDP Sciences, Les Ulis, 2009)
- [8] W. Zribi, J. Faci, R. Aragües, Inf. Téc. Eco. Agr. **107** 148 (2011)
- [9] J. Tarara., HortSci. **35**, 169 (2000)
- [10] L. Santesteban, S. Guillaume, J. Royo, B. Tisseyre, John V. Sta. **1**, 9 (2011)
- [11] L. Santesteban, C. Miranda, I. Barbarin, J. Royo. Aust. J. Grape. Eune Res. **21**, 157 (2015)
- [12] G. Topp, P. Ferré. Soil Sci. Soc. Of Am. 422 (2002)
- [13] P. Scholander, H. Hammel, E. Bradstreet, E. Hemmingsen. Sci. **148**, 339 (1965)
- [14] B. Myers, Tree Phy. **4**, 315 (1988)
- [15] G. Pereyra, Tesis MSc Fac. Agr. 154 (2018)
- [16] S. Gómez, E. García, Aus. J. Grape Wine Res. **16**, 283 (2010)
- [17] N. Ingraham, E. Caldwell, E. J. Geo. Res. Atm. **104**, 2185 (1999)
- [18] H. Förstel, H. Hützen, Wein. Tec. **120**, 71 (1984)
- [19] J. Marshall, J. Brooks, K. Lajtha, Car. Sou. Vic. 22 (2007)
- [20] A. Hermann, S. Voerkelius, Am. J. Enol. Viti. **59**, 194 (2008)