

FACULTAD DE AGRONOMÍA

**DETERMINACIÓN DEL COMPORTAMIENTO HÍDRICO, EFICIENCIA EN  
EL USO DEL AGUA DE VARIEDADES DE *Vitis Vinífera* Y SUS  
EFECTOS EN LA COMPOSICIÓN DE LA UVA**

por

Cesar Gustavo PEREYRA ALPUIN

TESIS presentada como uno de los  
requisitos para obtener el título de *Magister*  
en Ciencias Agrarias  
opción Ciencias Vegetales

MONTEVIDEO

URUGUAY

Febrero, 2018

Tesis aprobada por el tribunal integrado por Dr. Gustavo González Nevez, Dr. Omar Borsani y Dr. Hernan Ojeda, el 22 de febrero de 2018. Autor: Gustavo Pereyra. Directora: Dra. Milka Ferrer, Co-director: Dr. Gerardo Echeverria.

## AGRADECIMIENTOS

Este trabajo es el resultado de la colaboración de mucha gente, a la cual agradezco enormemente sus diversos aportes a lo largo de estos años.

Un especial agradecimiento a mis padres y hermanos, por el apoyo incondicional en la realización de mis metas.

A Milka Ferrer, orientadora de este trabajo, otro especial agradecimiento, por el apoyo y el impulso desde los inicios, motivándome e impulsándome a superarme día a día. Gracias por la confianza.

A todos los compañeros de Viticultura de estos años, Julia, Marcelo, Andrea, Leandro, Gianfranca, que colaboraron de distintas maneras en las diversas actividades de campo, laboratorio, etc, brindando una mano o consejos de lo mas oportunos. Gracias a todos.

Otro agradecimiento especial a Agustina y Vanessa, amigas de viticultura, por la gran mano brindada durante el desarrollo de este trabajo en todas las etapas, pero en particular por las risas y los buenos momentos compartidos.

Otro agradecimiento a todas las instituciones de investigación (ANII, CSIC, CAP, AUGM), que brindaron diversos apoyos que permitieron la realización de las diversas pasantías y actividades.

Citando al Maestro Washington Tabárez, *“la recompensa es el camino..”*, más allá de este documento, me quedo con el camino, los lugares conocidos, las experiencias vividas y los amigos adquiridos.

Gracias Totales!

## TABLA DE CONTENIDO

	página
PÁGINA DE APROBACIÓN .....	II
AGRADECIMIENTOS .....	III
RESUMEN.....	VII
SUMMARY.....	VIII
1. <u>INTRODUCCIÓN</u> .....	1
1.1. AGUA EN LAS PLANTAS .....	2
1.1.1. <u>Movimiento del agua en la planta</u> .....	3
1.1.1.1. Absorción.....	4
1.1.1.2. Transporte .....	5
1.1.1.3. Transpiración .....	5
1.1.2. <u>Determinación del estado hídrico</u> .....	5
1.1.2.1. Potencial hídrico foliar y xilemático .....	6
1.1.2.2. Dendrometría.....	8
1.1.2.3. Discriminación isotópica del carbono 13 ( $\delta^{13}\text{C}$ ) .....	8
1.1.3. <u>Regulación del agua en la planta</u> .....	9
1.1.3.1. Ajuste estomático.....	11
1.1.3.2. Comportamiento estomático-varietal.....	12
1.1.4. <u>Respuesta de la planta a la disponibilidad hídrica</u> .....	15
1.1.4.1. Crecimiento vegetativo y rendimiento.....	15
1.1.4.2. Sanidad de la uva.....	17
1.1.4.3. Acumulación de azúcares.....	18
1.1.4.4. Acidos y pH.....	19
1.1.4.5. Compuestos fenólicos.....	20
1.1.4.6. Maduración fenólica y factores que afectan a la biosíntesis.....	22
2. <u>MATERIALES Y MÉTODOS</u> .....	24
2.1. CONDICIONES DEL ENSAYO .....	24
2.2. EVALUACIONES METEOROLÓGICAS Y MICRO-METEOROLÓGICAS .....	25

2.3. EVALUACIONES EN PLANTA .....	26
2.3.1. <u>Estado hídrico</u> .....	26
2.3.2. <u>Eficiencia en el uso del agua</u> .....	28
2.3.3. <u>Crecimiento vegetativo y componentes del rendimiento</u> .....	28
2.3.4. <u>Composición de la uva</u> .....	29
2.3.5. <u>Análisis estadístico</u> .....	31
3. <u>RESULTADOS</u> .....	31
3.1. <u>CONDICIONES METEOROLÓGICAS Y MICRO-METEÓROLOGICAS DE LOS</u> <u>AÑOS DE ENSAYO</u> .....	31
3.1.1. <u>Temperatura del suelo</u> .....	33
3.1.2. <u>Micro-clima en la zona del racimo</u> .....	34
3.1.2.1. <u>Temperatura de canopia</u> .....	34
3.1.2.2. <u>Humedad Relativa</u> .....	35
3.1.2.3. <u>Luminosidad</u> .....	37
3.1.3. <u>Parámetros micro-climáticos según estado fenológico</u> .....	38
3.2. <u>CARACTERIZACIÓN HÍDRICA, ESTOMÁTICA Y EFICIENCIA EN EL USO DEL</u> <u>AGUA</u> .....	40
3.2.1. <u>Estado hídrico de la planta</u> .....	40
3.2.2. <u>Conductancia estomática</u> .....	43
3.2.3. <u>Relaciones hídricas</u> .....	45
3.2.4. <u>Relaciones hídricas y estomáticas</u> .....	47
3.2.5. <u>Discriminación isotópica, eficiencia en el uso del agua y disponibilidad</u> <u>hídrica</u> .....	49
3.3. <u>RESPUESTA DE LA PLANTA</u> .....	52
3.3.1. <u>Crecimiento vegetativo</u> .....	52
3.3.2. <u>Componentes del rendimiento</u> .....	54
3.3.3. <u>Componentes físicos de la baya</u> .....	56
3.3.4. <u>Partición materia seca por órgano y peso de poda</u> .....	58
3.3.5. <u>Composición química de la uva</u> .....	59
3.3.5.1. <u>Evolución de la acumulación de azúcares y otros</u> <u>metabolitos</u> .....	59

3.3.5.2. Evolución de la acumulación de antocianos.....	61
3.3.5.3. Metabolitos primarios de la uva en cosecha.....	62
3.3.5.4. Metabolitos secundarios de la uva en cosecha.....	64
4. <u>DISCUSIÓN</u> .....	67
4.1. COMPORTAMIENTO VARIETAL EN FUNCIÓN DE LA DISPONIBILIDAD HÍDRICA.....	67
4.2. EFECTO DE LA RESTRICCIÓN HÍDRICA EN LA HIDRATACIÓN DE LA PLANTA.....	71
4.3. CRECIMIENTO VEGETATIVO.....	73
4.4. RENDIMIENTO Y ESTADO SANITARIO.....	75
4.5. PESO Y COMPONENTES FÍSICOS DE LA BAYA.....	76
4.6. PARTICIÓN DE MATERIA SECA Y PRODUCCIÓN DE MADERA.....	77
4.7. COMPOSICIÓN QUÍMICA DE LA BAYA.....	78
4.7.1. <u>Componentes del metabolismo primario</u> .....	78
4.7.2. <u>Componentes del metabolismo secundario</u> .....	80
5. <u>CONCLUSIONES GENERALES</u> .....	82
6. <u>BIBLIOGRAFÍA</u> .....	84
7. <u>ANEXOS</u> .....	113
7.1. MADURACIÓN DE LA UVA DE <i>VITIS VINIFERA</i> L. EN RESPUESTA AL ESTADO HÍDRICO Y LAS MODIFICACIONES MICRO-AMBIENTALES.....	113

## RESUMEN

En el Uruguay la variedad emblema es el Tannat y no se conoce su comportamiento fisiológico en relación a su sensibilidad estomática (isohídrico o anisohídrico) en nuestras condiciones. Los objetivos de este trabajo, fueron analizar el comportamiento fisiológico de las variedades Tannat y Syrah en nuestras condiciones de cultivo en función de los indicadores de respuesta de la planta y sometidas a la cobertura de suelo. Para ello, durante dos ciclos (2014-2015; 2015-2016) se evaluó la respuesta hídrica y estomática de Tannat a la disponibilidad de agua y a las condiciones meteorológicas en contraposición a Syrah. El estudio se desarrolló en un viñedo comercial del Sur de Uruguay, con plantas injertadas sobre 3309C, conducidas en espaldera. Las parcelas eran contiguas entre sí, asegurando la misma oferta y demanda hídrica, permitiendo evaluar la respuesta varietal. Con el objetivo de controlar el aporte de agua por lluvias y modificar las condiciones micro-meteorológicas, al comienzo del envero se colocó en el suelo, una cobertura plástica. El polietileno utilizado fue de color blanco en ambas caras, de 220 micrones de espesor, con tratamiento UV. Se utilizó el mismo nylon durante las dos temporadas. En nuestras condiciones de cultivo, ambas variedades tendrían un comportamiento estomático similar, con una mejor regulación estomática por parte de Tannat. En Syrah, la sensibilidad al déficit hídrico llevó a una disminución del crecimiento vegetativo y peso de baya. Tannat mantuvo el crecimiento vegetativo, disminuyó la partición de MS hacia los racimos y el peso de baya. Ambas variedades presentaron una disminución en cuanto al contenido de azúcares y antocianos acumulados desde etapas tempranas de la maduración, en condiciones climáticas más extremas. Las condiciones micro-meteorológicas favorables generadas por la cobertura del suelo, un ambiente con mayor contenido de agua, temperatura y luminosidad y menor humedad relativa, determinaron una mejora en los procesos fisiológicos, lo que se expresó en ambas variedades con una optimización en la EUA y en Tannat, con un aumento en la síntesis de azúcares y antocianos.

**Palabras clave:** isohídrico, anisohídrico, EUA, cobertura de suelo, composición de la uva

# DETERMINATION OF WATER BEHAVIOR, EFFICIENCY IN THE USE OF WATER OF VITIS VINIFERA VARIETIES AND THEIR EFFECTS ON THE COMPOSITION OF THE GRAPE

## SUMMARY

Tannat is the most important variety in Uruguayan viticulture. Its physiological behavior in relation to its stomatal sensitivity (isohydric or anisohydric) is unknown in our growing conditions. The objectives of this work were to analyze the physiological behavior of the Tannat and Syrah varieties in our growing conditions according to the response indicators of the plant and submitted to soil cover. For this, during two cycles (2014-2015, 2015-2016), the hydric and stomatal response of Tannat to water availability and weather conditions as opposed to Syrah was evaluated. The study was conducted in a commercial vineyard in the South of Uruguay, in plants grafted on 3309C, trained on a trellis system. The plots were contiguous with each other, ensuring the same water supply and demand, allowing to evaluate the varietal response. To control rain water, and modify the micro-meteorological conditions, plastic cover was placed on the ground from to the veraison. The polyethylene used was white on both sides, 220 microns thick, with UV treatment. The same nylon was used during the two seasons. In our growing conditions, both varieties showed a similar stomatal behavior, with better stomatal regulation by Tannat. In Syrah, sensitivity to water deficit determined a decrease in vegetative growth and berry weight. Tannat maintained the vegetative growth, the partition of DM towards the bunches and the berry weight decreased. Both varieties showed a decrease in sugar content and anthocyanins accumulated from to early stages of maturation, in more extreme climatic conditions. The favorable micro-meteorological conditions generated by the soil cover, an environment with higher water content, temperature and luminosity and lower relative humidity, determined an improvement in the physiological processes, which was expressed in both varieties with an optimization in the EUA and in Tannat, with an increase in the synthesis of sugars and anthocyanins.

**Keywords:** isohydric, anisohydric, USA, soil cover, grape composition



## 1. INTRODUCCIÓN

La eficiencia en la utilización de los recursos hídricos es un factor relevante para la definición de políticas públicas que aseguren su disponibilidad tanto para la producción agrícola y ganadera como también para el consumo humano. En el contexto de Cambio Climático Global y variabilidad climática, existen nuevos desafíos al hacerse más cambiantes las condiciones climáticas, y las previsiones sobre sus efectos no son iguales para todas las regiones. Es en este nuevo escenario que se hace necesario enfocar la atención en considerar la eficiencia con la que las plantas utilizan el agua para poder anticiparse a los efectos y consecuencias del cambio climático.

La vid es una planta que ha sido utilizada a nivel mundial como modelo en investigaciones para la evaluación de la eficiencia del uso del agua, además, debido a que sus variedades presentan una respuesta diferencial en el crecimiento vegetativo y composición de la uva en función a la disponibilidad hídrica.

Frente a condiciones de estrés hídrico, las plantas presentan una serie de mecanismos para regular el agua en sus tejidos. Uno de estos mecanismos es el control estomático, limitando la pérdida excesiva de agua y la cavitación del tejido xilemático. Las distintas variedades de vid, tienen distinto grado de control del ajuste estomático frente a condiciones de estrés hídrico lo que ha permitido clasificarlas en dos grandes grupos, isohídricas y anisohídricas. Las variedades de tipo isohídricas, se caracterizan por una fuerte regulación estomática permitiendo conservar el agua; por el contrario, las variedades de tipo anisohídricas, presentan un menor control sobre las estomas, por lo tanto, una mayor transpiración y pérdida de agua. Pero a su vez, la respuesta de las plantas y variedades al déficit hídrico no suelen ser tan simple, existiendo variedades con comportamientos intermedios a los mencionados dependiendo de las condiciones climáticas donde estas se desarrollen.

Para la vid, como para muchos cultivos el agua juega un rol fundamental en los procesos fisiológicos y bioquímicos. El desarrollo vegetativo, el rendimiento, el estado

sanitario, y la composición de las uvas, están íntimamente determinados por el estado hídrico de la planta, lo que condiciona el tipo de vino a elaborar.

En el Uruguay el cultivo de la vid ocupa casi 7000 hectáreas, ubicándose el 94% de la superficie en el sur del país. La variedad emblema es el Tannat, que ocupa más del 25% de la superficie plantada y no se conoce su comportamiento fisiológico en relación a su sensibilidad estomática (isohídrico o anisohídrico) en nuestras condiciones. En función de su tipo de comportamiento, se adaptará o no a condiciones de déficit hídrico, repercutiendo en la cantidad y calidad de la uva y por ende de los vinos obtenidos. Conocer esta información permitirá, a nivel de cultivo, disponer de mayores herramientas para, por ejemplo, elección del tipo de suelo (según su reserva de agua); elección del portainjerto; técnicas de cultivo, gestión del suelo, entre otras.

En base a lo mencionado anteriormente, este trabajo de tesis tiene como objetivo general, aportar elementos metodológicos para comprender y evaluar, el comportamiento estomático y la eficiencia en el uso del agua, en plantas perennes, utilizando la vid como modelo. A su vez se fijan tres objetivos específicos, (i) evaluar el comportamiento fisiológico de la variedad Tannat y Syrah en nuestras condiciones de cultivo; (ii) evaluar el impacto de la cobertura de suelo en el microclima de la planta y en los indicadores de respuesta de la planta; (iii) aportar conocimientos sobre la composición y componentes físicos de la uva según régimen hídrico.

## **1.1. AGUA EN LAS PLANTAS**

El agua es el principal compuesto químico que predomina en las plantas. Entre un 70% y un 95% de la materia fresca de los tejidos vegetales contiene agua, a su vez representa aproximadamente un 60% del tejido leñoso (Keller, 2015).

Dentro de todas las funciones que desempeña el agua en las plantas, Santesteban y Royo (2006) destacan: (i) su rol como disolvente universal, permitiendo las reacciones bioquímicas (fotosíntesis, respiración); (ii) mantenimiento de la turgencia celular; (iii) medio de

transporte de sustancias en el floema y en el xilema; (iv) intervención en la regulación de la apertura y cierre estomático; (v) regulación de la temperatura de la planta, entre otras funciones.

Del total de agua que las raíces son capaces de absorber, se estima que entre un 95% a 98% se pierde a la atmosfera durante la transpiración, utilizando muy poca agua para el proceso de expansión celular (Keller, 2015). A pesar de ello, el agua, es el componente principal de la uva madura (75-85%) siendo un 99% absorbida por las raíces, por tanto, la disponibilidad de agua afectará el desarrollo de las bayas (Conde *et al.*, 2007).

### **1.1.1. Movimiento del agua en la planta**

La absorción de agua y el movimiento dentro de la planta, a la salida del invierno y en la noche, es impulsado por una presión positiva en la raíz, que moviliza nutrientes en la savia permitiendo el flujo de savia mediante un gradiente osmótico que empuja la savia hacia arriba a través del xilema (Keller, 2015).

En la bibliografía se citan varios modelos o teorías que intentan explicar el ascenso diurno del agua en las plantas, siendo en la actualidad la más aceptada la teoría coheso-tensiva (Vila, 2011). En este modelo el flujo de savia (agua y nutrientes) se realiza de manera pasiva sin gastar energía metabólica, siendo la transpiración del agua en la hoja la energía impulsora.

En términos simplificados, cuando una molécula de agua es transpirada por la hoja, crea una tensión en el interior de las paredes del mesófilo que se transmite a los capilares del xilema foliar, y de estos a las células xilemáticas de la raíz, permitiendo absorber agua del suelo, generando una columna de flujo suelo-planta-atmósfera. Dicha columna se mantiene unida debido a la fuerza de cohesión que existe entre las moléculas de agua que ayuda a contrarrestar la gravedad (Tyree y Zimmermann, 2002). Este continuo suelo-planta-atmosfera se mantiene en toda la superficie de la planta, hojas, brotes, zarcillos, flores, bayas (Keller, 2015). Como fuerza impulsora, las plantas usan la energía solar directamente para evaporar

(transpiración) el agua de las hojas e impulsar la columna de agua, moviéndose desde un gradiente de potencial de agua, de alto a bajo (Vila, 2011).

Para mantener la integridad del xilema, el sistema tiene que ser hermético, y la tensión superficial de las moléculas de agua, actúa como un sello entre el agua dentro del xilema y el aire. Pero si la columna de agua se somete a demasiada tensión, ocasionado por una transpiración excesiva o por otros factores, puede generar una ruptura de la columna de agua con ingreso de vapor de agua o aire a los vasos de xilema. Este fenómeno se conoce como cavitación (Steudle, 2001; Tyree y Zimmermann, 2002).

#### **1.1.1.1. Absorción**

Como se mencionó en el apartado anterior, es la transpiración la fuerza impulsora de la absorción de agua y del movimiento dentro de la planta, desde zonas de alto a bajo potencial (Keller, 2015). El agua entra por las raíces por ósmosis, fundamentalmente a través de los pelos absorbentes y se mueve inicialmente dentro de la raíz por dos vías simplástica o apoplástica (Steudle, 2000). En la vía simplástica el agua se mueve por dentro de la célula y pasa de una célula a otra a través de pequeños poros llamados plasmodesmos (Roberts y Oparka, 2003; Steudle, 2000). En cambio, el apoplasto, se refiere al espacio entre las paredes celulares, espacios intercelulares y vasos del xilema y el agua se mueve por estos espacios siendo una vía extracelular (Steudle, 2000).

Por cualquiera de estas dos vías el agua se mueve desde la raíz hacia el tejido xilemático, en donde antes de ingresar al mismo, deben pasar las células de la endodermis que presentan en las paredes transversales hidrófobas al agua al estar impregnadas de lignina que son denominadas "Bandas de Caspary". Estas bandas hacen que los nutrientes y el agua, solo puedan moverse a través de ella a través de los plasmodesmos (Geldner, 2013; Steudle, 2000). Por lo tanto, el agua para poder ingresar al xilema, independientemente de la vía de circulación (simplástica o apoplástica) debe pasar por al menos dos membranas celulares, lo que permite a la planta tener un grado de selectividad de los solutos que ingresan (Tester y Leigh, 2001).

### **1.1.1.2. Transporte**

Después de pasar por los plasmodesmos en la endodermis, el agua con sales e iones disueltos alcanza el xilema y se distribuye a toda la planta. El transporte de larga distancia del agua se da por la transpiración y se produce por flujo de masa, en donde una cantidad de moléculas de agua se mueven juntas llevando consigo los iones disueltos (Tyree y Ewers, 1991). En el transporte por xilema utiliza las propiedades físicas de capilaridad y la cohesión del agua (Lovisol y Schubert, 1998).

### **1.1.1.3. Transpiración**

La transpiración es la pérdida de agua en forma de vapor. En una hoja este fenómeno depende de dos factores fundamentalmente: la diferencia de concentración de vapor de agua entre los espacios intracelulares de la hoja y el vapor presente en la atmósfera exterior, esto condicionado por la resistencia a la pérdida de vapor por parte de la hoja (Keller, 2015). Dentro de las resistencias existentes, las más importantes son, la ofrecida por el poro estomático y por la capa de aire inmediata a la superficie de la hoja (capa límite), siendo mucho mayor la primera resistencia (Schultz y Stoll, 2010).

Las estomas son clave importante para la regulación de la pérdida de agua en la planta, son muy sensibles a factores ambientales y permiten a la planta eliminar el calor latente y su refrigeración (Mullins *et al.*, 1992).

### **1.1.2. Determinación del estado hídrico**

Para el caso de la vid, se han desarrollado numerosos criterios para estimar el estado hídrico de la planta. A continuación, se detallan algunos de ellos.

### 1.1.2.1. Potencial hídrico foliar y xilemático

La medida de potencial hídrico de órganos de la planta, es un parámetro fisiológico que mide el balance entre la absorción y la transpiración de agua. Esta es una medida de tipo directa del estado hídrico, realizada con una cámara de presión que mide la energía necesaria para extraer el agua de los tejidos vegetales (Scholander *et al.*, 1965).

Para realizar esta determinación es necesario colocar un órgano de la planta (hoja, tallo, etc.) en una cámara de presión. Una parte del órgano queda por fuera de la cámara, para controlar la salida de savia a medida que se inyecta un gas inerte en la cámara. Este gas genera una presión interna que empuja la savia por el xilema. La presión en la cámara representa la tensión del agua en el xilema del órgano, cuanto mayor es la presión que se debe agregar a la cámara menos es el contenido de agua en la hoja. Se mide en bares o mega pascales (Deloire *et al.*, 2006; Scholander *et al.*, 1965).

El potencial hídrico foliar está representado por las siguientes componentes (Barceló *et al.*, 1987):

$$\Psi_w = \Psi_p + \Psi_s + \Psi_m + \Psi_g$$

$\Psi_p$ : Potencial de presión (presión ejercida por las vacuolas y paredes celulares)

$\Psi_s$ : Potencial osmótico (generado por la concentración de solutos en la vacuolas celulares)

$\Psi_m$ : Potencial matricial (fuerzas de hidratación, capilaridad y absorción).

$\Psi_g$ : Potencial gravitacional (fuerza gravitacional).

La información obtenida que se obtiene utilizando esta técnica varía según el momento del día en que se realiza la medición:

- *El potencial hídrico foliar de base ( $\Psi_{fb}$ )*, es aquel que se determina al final de la noche, previo a la salida del sol, en ausencia de transpiración y cuando la planta equilibra su estatus hídrico en relación a la disponibilidad del suelo. Este parámetro se ha utilizado para determinar umbrales de referencia (Tabla 1) que se pueden

correlacionar con aspectos fisiológicos en las plantas como el crecimiento vegetativo, fotosíntesis, composición de las bayas, etc. (Carbonneau *et al.*, 2007; Deloire *et al.*, 2006).

- *Potencial hídrico foliar diario ( $\Psi_d$ )*: Con la salida del sol, los estomas se abren y la planta comienza a transpirar. Este indicador permite conocer la dinámica de deshidratación de la planta a medida que aumenta la demanda atmosférica y la recuperación del estatus hídrico al disminuir la demanda sobre el final del día (Deloire *et al.*, 2006)
- *Potencial hídrico foliar mínimo ( $\Psi_m$ )*: este valor se alcanza cuando la demanda atmosférica es máxima y es el valor mínimo de potencial que se alcanza durante el día. Dependiendo del  $\Psi_{fb}$  con que se parta será si el  $\Psi_m$  se alcanza antes o más tarde durante el día, por lo general este valor se obtiene entre las 13:00 y las 16:00 h (Carbonneau *et al.*, 2007; Deloire *et al.*, 2006; Carbonneau, 1998).

Teniendo en cuenta varios ensayos de investigación realizados en Francia Carbonneau (1998) propuso valores de  $\Psi_{fb}$ , estos valores se presentan en la tabla 1.

Tabla 1: Potencial hídrico preamanecer y nivel de estrés (Adaptado de Carbonneau, 1998)

$\Psi_{fb}$	Estado hídrico de la vid
$0 \text{ MPa} \geq \Psi_{fb} \geq -0,2 \text{ MPa}$	Estrés hídrico leve o ausente
$-0,2 \text{ MPa} \geq \Psi_{fb} \geq -0,4 \text{ MPa}$	Estrés hídrico leve a moderado
$-0,4 \text{ MPa} \geq \Psi_{fb} \geq -0,6 \text{ MPa}$	Estrés hídrico moderado a severo
$-0,6 \text{ MPa} > \Psi_{fb}$	Estrés hídrico severo

El potencial xilemático es una medida similar al potencial foliar, que se realiza en hojas transpirantes que se embolsan herméticamente para evitar que transpiren (cierran estomas) y el potencial se iguala al del tallo (Girona *et al.*, 2009; Choné *et al.*, 2001).

### 1.1.2.2. Dendrometría

En la vid, las raíces, troncos y cordones actúan como reservorios de agua, que se agotan en la mañana al aumentar la transpiración y se “llenan” en la tarde. Estos cambios en la reserva de agua interior, produce cambios diarios de expansión del diámetro del tronco (Lovisolo y Schubert, 1998). En las plantas sometidas a déficit hídrico, presentan una oscilación mayor en el diámetro de tronco y una menor recuperación nocturna. Esta variación puede ser determinada mediante el uso de dendrómetros (Eraso, 2011).

### 1.1.2.3. Discriminación isotópica del carbono 13 ( $\delta^{13}\text{C}$ )

En la naturaleza existen dos isótopos estables de carbono,  $^{12}\text{C}$  (98.93%) y el  $^{13}\text{C}$  (1.07%) (Hoefs, 2008). En el tejido vegetal, la proporción de  $^{13}\text{C}$  es menor que en el atmosférico, por lo cual durante el proceso de fotosíntesis se produce una discriminación de carbono. Esto está explicado por dos factores, el primero, durante la fotosíntesis, la enzima RUBISCO (encargada de la fijación del  $\text{CO}_2$ ) presenta una mayor afinidad por el  $^{12}\text{CO}_2$  que por  $^{13}\text{CO}_2$  y por otro lado el  $^{13}\text{CO}_2$  presenta una menor velocidad de difusión en el mesófilo al ser un isótopo más pesado (Farquhar *et al.*, 1989).

En condiciones de estrés hídrico, las plantas cierran estomas, este cierre ocasiona un cambio en la discriminación debido a que la proporción relativa del  $^{13}\text{CO}_2$  en el mesófilo de la hoja aumenta (por disminución del  $^{12}\text{CO}_2$ , utilizado por la RUBISCO) y la falta de renovación de aire en la cámara subestomática. Como consecuencia de lo anterior, los asimilados producidos en plantas bajo déficit hídrico presentan valores distintos de  $\delta^{13}\text{C}$  que las plantas no estresadas (Santesteban *et al.*, 2011; De Souza *et al.*, 2003; van Leeuwen *et al.*, 2009). Se expresa en términos de partes por mil o ‰ (Werner *et al.*, 2012).

Por tanto, la discriminación isotópica puede ser utilizada como un parámetro integrador del estado hídrico de la planta durante la maduración de la uva, que puede, por



ejemplo, estar entre los rangos -27 ‰ (sin déficit) a -20 ‰ (déficit severo) (van Leeuwen *et al.*, 2009).

Este análisis puede ser realizado tanto en hojas como en bayas. Durante la maduración, la sacarosa producida en las hojas por la fotosíntesis, es movilizadada vía floema hasta los frutos en crecimiento y es degradada en glucosa y fructosa por enzimas invertasas presentes en la vacuola (Davies y Robinson, 1996). El  $\delta^{13}\text{C}$  determinado en las bayas, está compuesto de carbonos acumulados durante el período de maduración y es reflejo de las condiciones hídricas durante ese periodo (Bchir *et al.*, 2016).

### 1.1.3. Regulación de agua en la planta

En la vid, la disponibilidad de agua influye en términos generales, en el rendimiento y la composición de la fruta (Ojeda *et al.*, 2002; Kramer y Boyer, 1995) y en el crecimiento vegetativo. Esta disponibilidad depende de la oferta de agua (lluvia y riego), la capacidad de retención de agua del suelo y la demanda de evaporación de la atmósfera (Keller, 2015).

Cuando la demanda es alta y la transpiración es superior a la absorción de agua por las raíces, hay una disminución del contenido relativo de agua y del volumen celular y un aumento de la concentración de solutos ocasionando una disminución del  $\Psi_w$  (Vila, 2011; Keller, 2015). Si esta situación se continua en el tiempo la planta puede sufrir estrés hídrico, siendo este definido como una limitación del óptimo funcionamiento fisiológico originado por la falta de agua (Medrano y Flexas, 2003).

Luego de la disminución del  $\Psi$  y de la turgencia celular  $\Psi_p$ , si la deficiencia hídrica continua se produce un aumento de la síntesis de ácido abscísico (ABA) por las raíces, bloqueo de la producción de citoquininas y aumento del pH de la savia xilemática (Lovisoló *et al.*, 2010; Davies *et al.*, 2002; Davies y Zhang, 1991).

Vila (2011), estudió el sistema de regulación hídrica de la vid, considerando las leyes físicas que la regulan y las condiciones ambientales y sus interacciones con la regulación

hídrica. Este autor define que el déficit hídrico produce en las plantas determinadas respuestas, que en su conjunto generan un síndrome y algunas de estas señales se retroalimentan entre sí, agravando el estrés. Las distintas causas se ejemplifican en la figura 1, y las respuestas son muy variables siendo algunas de tipo hidráulico y otras de tipo bioquímico.

El ABA cumple funciones de regulación del estatus hídrico en la planta, principalmente regulando la apertura/cierre estomático. También participa en los mecanismos de tolerancia al estrés osmótico a través de la producción de proteínas de deshidratación que se acumulan en las células. Esta hormona funciona como mensajera de las raíces, desencadenando en el resto de la planta mecanismos de conservación del agua (Speirs *et al.*, 2013).

En condiciones bien regadas, el pH del xilema es alrededor de 6.0, mientras que con déficit hídrico este asciende a 7.0, como consecuencia del aumento de iones como  $K^+$  y mayor actividad de la bomba de protones en las raíces. Esta es otra señal de las raíces hacia las hojas para inducir un cierre de estomas y disminución de la expansión celular (Wilkinson y Davies, 2002; Stoll *et al.*, 2000).

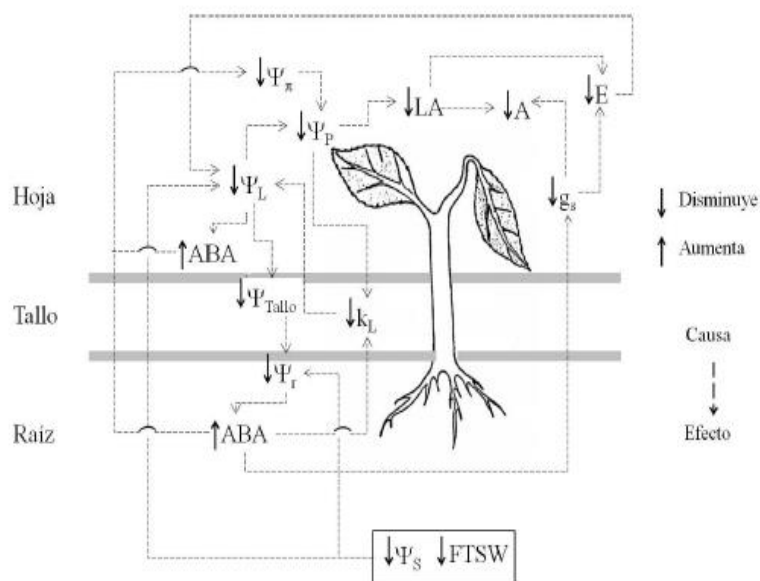


Figura 1: Causas y efectos del déficit hídrico ( $\psi_s$ : potencial del suelo; FTSW: fracción de agua del suelo transpirable; ABA: ácido abscísico,  $\psi_L$ : potencial foliar;  $\psi_{\text{Tallo}}$ : potencial hídrico del tallo;  $\psi_r$ : potencial hídrico de la raíz;  $k_L$ : conductancia hidráulica de la planta;  $\psi_{\pi}$ : potencial osmótico foliar;  $\psi_p$ : turgencia foliar; LA: superficie foliar; A: fotosíntesis neta;  $g_s$ : conductancia estomática; E: Transpiración). Tomado de Vila, 2011.

Con el cierre de los estomas, se evita la pérdida de agua por parte de la planta lo que evita la cavitación del xilema (Brodribb y Holbrook, 2003). Algunos autores citan que este efecto de cavitación sería la responsable de la detención del crecimiento de los pámpanos en condiciones de estrés hídrico moderado (Lovisolo y Schubert, 1998).

El nivel de estrés que puede alcanzar una planta depende de muchos factores entre los que se destacan, la duración y la intensidad del déficit hídrico, la aclimatación y el nivel de resistencia de la planta (Vila, 2011).

### 1.1.3.1. Ajuste estomático

Como se mencionó en el apartado anterior, cuando la planta recibe determinados estímulos del ambiente, se desencadenan internamente una serie de reacciones que

desembocan fundamentalmente en la apertura o cierre estomático, permitiendo a la planta, mantener un balance positivo entre la transpiración y la asimilación de carbono (Vila, 2011). Los estomas entonces, cumplen funciones de regulación de la pérdida de agua por difusión y son muy sensibles a las variables ambientales (Sperry *et al.*, 2002). La luz es la principal señal ambiental que determina la apertura o cierre de estomas (Roelfsema y Hedrich, 2005).

Las células oclusivas de los estomas, son las responsables de la apertura estomática mediante el ingreso de agua y aumento de la turgencia, lo que provoca la apertura del poro porque estas células se arquean (Franks y Farquhar, 2007). En respuesta a la luz, los estomas activan la bomba  $H^+$   $ATP_{asa}$  que se encuentran en la membrana plasmática y bombean protones ( $H^+$ ) hacia el apoplasto, generando un gradiente eléctrico en el citoplasma que se compensa con el ingreso de agua con iones  $K^+$ . Para el cierre estomático se da el intercambio inverso, salida de  $K^+$  e ingreso de  $H^+$ , permitiendo la salida de agua y la pérdida de turgencia de las células oclusivas (Roelfsema y Hedrich, 2005; Zeiger *et al.*, 2002).

Las células de guarda regulan, entonces la apertura y cierre estomático, a través de un equilibrio dinámico del almidón/malato y  $H^+/K^+$ , en respuesta a estímulos externos e internos. El ABA puede amplificar la apertura o cierre de los estomas (Wilkinson y Davies, 2002). Cuando las raíces perciben la escasez de agua (disminución del  $\Psi_{suelo}$ ), aumenta la síntesis de ABA que se transporta vía xilema hacia las hojas, modificando la permeabilidad de la membrana celular (McAinsh y Pittman, 2009; Wilkinson y Davies, 2002). La entrada de ABA a las células, provoca un aumento del pH del citosol, bloqueando la bomba de protones y activando los canales de Ca, aumentando en el citosol la concentración de  $Ca^{++}$  libre. Para mantener el equilibrio iónico en esta situación, se provoca una pérdida de  $K^+$  y  $Cl^-$ , ocasionando una pérdida de turgencia y cierre de los estomas (Assman y Shimazaki, 1999).

#### **1.1.3.2. Comportamiento estomático - varietal**

Las respuestas de la planta frente a situaciones de déficit hídrico en la vid varían según las variedades. En algunas variedades predomina el cuidado del agua, mientras que otros priorizan la asimilación de  $CO_2$  con pérdida de agua. La diferencia entre las variedades

de vid se debe a su sensibilidad estomática a la sequía (Lovisolo *et al.*, 2010; Schultz, 2003). Se han definido como variedades iso-hídricas aquellas que tienen una sensibilidad estomática mayor que las llamadas aniso-hídricas. Las plantas que se consideran anisohídricas, mantienen una transpiración mayor, una mayor apertura estomática y por tanto disminuyen el  $\Psi_f$  durante el día en respuesta al déficit hídrico del suelo y la demanda atmosférica (Tardieu y Simonneau, 1998). En cambio, las isohídricas, conservan un  $\Psi_f$  más estable durante el día ya que cierran sus estomas frente a un aumento de la demanda atmosférica o disminución del  $\Psi_s$  (Tardieu y Simonneau, 1998). En resumen, el factor que distingue a estos dos grupos de plantas, es la diferencia que se da en el momento de mayor demanda atmosférica (mediodía) entre el  $\Psi_f$  entre plantas sometidas a déficit con respecto a las sin déficit, teniendo en cuenta también diversos factores ambientales (Vila, 2011; Tardieu y Simonneau, 1998).

Esta clasificación no es tan estricta para las diversas variedades de vid, ya que el  $\Psi_f$  no permanece constante durante el día, siendo más correcto clasificar a los cultivares de “tipo isohídrico” o “tipo anisohídrico” (Keller, 2015). Los cultivares de tipo isohídrico, son consideradas “pesimistas” ya que modifican su comportamiento para conservar los recursos (agua) sacrificando la asimilación de  $\text{CO}_2$  disminuyendo así la fotosíntesis. En cambio, los cultivares de tipo anisohídrico son considerados “optimistas”, consideran que el déficit hídrico es pasajero y no cierran estomas, lo que les permite mantener la asimilación del  $\text{CO}_2$  (Keller, 2015; Sperry, 2004).

La respuesta diferencial de estos grupos frente al déficit hídrico, podría estar explicado fundamentalmente a una sensibilidad que tienen los estomas al ABA (Tardieu y Simonneau, 1998). Muchos autores, estudiando este comportamiento estomático e hídrico frente al déficit de agua del suelo, en diversas regiones climáticas, han visto que diversas variedades que en principio habían sido clasificadas de una forma se comportaban diferente al cambiar las condiciones climáticas, edáficas y de manejo. Por lo tanto, la clasificación de variedades de vid antes mencionado, teniendo en cuenta únicamente el comportamiento estomático, no parece ajustarse a la realidad (Hugalde y Vila, 2014; Rogiers *et al.*, 2011; Chaves *et al.*, 2010).

Cuadro 2: Clasificación de variedades según comportamiento estomático.

Cultivar	Tipo- Isohídrico	Tipo- Anisohídrico	Casi- Isohídrico	Casi- Anisohídrico
<b>Syrah</b>	Hugalde y Vila 2014; Chouzouri y Schultz 2005; Pou <i>et al.</i> , 2012	Prieto <i>et al.</i> , 2010; Shultz, 2003; Rogiers <i>et al.</i> , 2009; Santesteban <i>et al.</i> , 2009	Pou <i>et al.</i> , 2012	Tramontini <i>et al.</i> , 2014
<b>Gernache</b>	Pou <i>et al.</i> , 2012	Hugalde y Vila 2014; Chouzouri y Schultz 2005;	Shultz, 2003; Santesteban <i>et al.</i> , 2009	
<b>Chardonnay</b>		Hugalde y Vila 2014; Pou <i>et al.</i> , 2012; Rogiers <i>et al.</i> , 2009		
<b>Malbec</b>		Shellie y Bowen, 2014;	Hugalde y Vila 2014	
<b>Cabernet Sauvignon</b>		Shellie y Bowen, 2014; Williams y Baeza, 2007	Tramontini <i>et al.</i> , 2014	
<b>Ekigania</b>	Prieto <i>et al.</i> , 2010			
<b>Merlot</b>		Williams y Baeza, 2007;		
<b>Tempranillo</b>	Medrano <i>et al.</i> , 2003	Lovisoló <i>et al.</i> , 2010; Santesteban <i>et al.</i> , 2009		

Adaptada de Chaves *et al.*, 2010.

El ABA, induce el cierre de la acuaporinas ocasionando una disminución del flujo de agua a las células del mesófilo, este efecto sumado a la disminución de la  $g_s$ , podría estar explicando el comportamiento isohídrico (Pantin *et al.*, 2013). Las variedades isohídricas perciben la señal de ABA en los estomas y acuaporinas, los que los hacen responder más rápidamente al déficit hídrico (Keller, 2015).

#### **1.1.4. Respuesta de la planta a la disponibilidad hídrica**

##### **1.1.4.1. Crecimiento vegetativo y rendimiento**

El desarrollo vegetativo, en la vid como en todos los cultivos, está determinado en gran medida por la disponibilidad de agua (Pellegrino *et al.*, 2006). Cuando el agua no es limitante, las raíces deben absorber más agua de la que pierden por transpiración para permitir el crecimiento de los tejidos, ya que la principal causa de la expansión de las células es la entrada de agua (Keller, 2015). En condiciones de déficit, como ya se mencionó, aumenta la síntesis de ABA, la cual, dentro de sus funciones, se menciona la inhibición de la expansión celular, bloqueando la acción de las auxinas durante la división celular y por tanto, está implicado en la inhibición de los brotes de las plantas (Lovisolo *et al.*, 2010). En esta situación, se reduce la absorción del agua por las células y no se genera la turgencia necesaria para la expansión, deteniéndose la expansión de las hojas y el crecimiento de brotes, siendo este, el primer síntoma de déficit hídrico. (Hsiao y Xu, 2000; Nonami *et al.*, 1997).

También los zarcillos son un indicador sensible a la falta de agua. Sin limitante de agua, los zarcillos superiores se desarrollan por encima de los brotes, a medida que falta el agua, el desarrollo de los zarcillos es menor, alcanzando el mismo nivel que el brote. Si el estrés es continuo, el crecimiento de los zarcillos se detiene, las hojas se expanden por encima de los mismos que comienzan a marchitarse antes que las hojas (Keller, 2015).

El período entre el cuajado y el envero es el período en que el crecimiento del brote y el tamaño de bayas se encuentra compitiendo por fotoasimilados y es el período de mayor

eficacia del déficit hídrico. Este hecho es la base del riego controlado deficitario, en donde se aplica menos agua de la necesaria por el viñedo (Keller, 2005).

Las raíces de la vid en condiciones de déficit, disminuyen el crecimiento debido a la combinación de falta de agua para la mantener la turgencia celular y a su vez un aumento de la resistencia de a la penetración de un suelo seco (Bengough *et al.*, 2011). A su vez, la disminución de la humedad del suelo, ocasiona una dificultad en la absorción de nutrientes para el desarrollo del follaje y la maduración de la uva, que pasa a ser suministrada por las reservas almacenadas y re-movilizadas de otras partes de la planta (Keller, 2015).

Además de disminuir la pérdida de agua, el cierre estomático limita la fotosíntesis, al reducir la difusión de CO<sub>2</sub> al estar el estoma cerrado (Flexas *et al.*, 1998). Frente a estrés hídrico leve, como se mencionó anteriormente, el primer efecto es una detención de la expansión celular y por ende del follaje, previo a que los estomas se cierren (Hsiao, 1973 citado por Keller, 2015). Por tanto, en estas condiciones, hay una disminución del crecimiento foliar que es mayor que la disminución de la fotosíntesis, lo que deja disponible una mayor cantidad de asimilados para los frutos en crecimiento o son almacenados en estructuras permanentes (McDowell, 2011; Muller *et al.*, 2011).

Medrano *et al.* (2007), utilizando la conductancia estomática como indicador del nivel de estrés hídrico en la planta, establecen tres niveles de inhibición de la fotosíntesis. Siendo:

- 1- Primer nivel: niveles de  $g_s$  comprendidos entre los valores máximos (dependientes del cultivar y el ambiente) y unos 150 mmol H<sub>2</sub>O m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup>. En esta etapa los efectos estomáticos son dominantes, con una disminución de la fotosíntesis ( $A_N$ ) y un aumento de la eficiencia intrínseca del uso del agua ( $A_N/g_s$ ).
- 2- Segundo nivel: entre valores de 150 a 50 mmol H<sub>2</sub>O m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup>, también en esta etapa predominan los efectos estomáticos, aunque ya se manifiestan los efectos no estomáticos (metabolismo fotosintético).
- 3- Tercer nivel: con valores de  $g_s$  inferiores a 50 H<sub>2</sub>O m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup>, en donde los efectos no estomáticos predominan y disminuye la eficiencia en el uso del agua.



Por la falta de agua, el metabolismo fotosintético se deteriora progresivamente con una afectación del transporte de electrones, que de mantenerse el déficit hídrico ocasiona daños irreversibles (Escalona *et al.*, 1999). En estas condiciones se generan una disminución en la fotosíntesis mayor que la reducción de la conductancia y por ende cae la eficiencia en el uso del agua (Medrano *et al.*, 2007).

El déficit severo ocasionado durante la etapa de crecimiento del fruto, provoca una disminución del rendimiento (Williams y Matthews, 1990). Un estrés severo en floración, además de afectar en número de bayas del ciclo actual, también puede afectar el rendimiento del ciclo siguiente, afectando la diferenciación de racimos y por ende la fertilidad de yemas (Alleweldt y Hofacker, 1975 citado por Keller 2015). Aunque si el estrés es leve en este período, la disminución del área foliar podría mejorar la inducción floral al mejorar el microclima del racimo (Williams y Matthews, 1990).

Pasado el período de cuajado y formadas las semillas, en condiciones de estrés hídrico, la planta prioriza el crecimiento de los frutos, relegando el desarrollo de brotes, el crecimiento radical y la acumulación de reservas necesarias para la primavera siguiente (Williams y Matthews, 1990).

Si el estrés se genera durante el tiempo suficiente para afectar el cuajado de frutos, las bayas restantes pueden aumentar y compensar la pérdida potencial de rendimiento al aumentar el tamaño de bayas (Keller *et al.*, 2008).

#### **1.1.4.2. Sanidad de la uva**

Los factores climáticos como la temperatura, humedad relativa, precipitaciones y viento durante el período de maduración de la uva son determinantes para el desarrollo o no de enfermedades a nivel del racimo (Ferrer *et al.*, 2009). Dentro de estas enfermedades que atacan al racimo se destacan *Colletotrichum acutatum*, *Greenerria uvicola*, *Penicillium sp.* y *Botrytis cinerea* (Hidalgo, 2009).

Estas afecciones a nivel de racimo, generan una reducción del rendimiento y de la calidad de la uva y el vino resultante (Ferrer *et al.*, 2011; González Neves, 2005). En nuestras condiciones de cultivo como en otras, *Botrytis cinerea* es el agente causal de los mayores daños productivos y pérdida de calidad de la uva (Culasso y Maresca, 2014; Ferrer *et al.*, 2011; Hidalgo, 2009; Piccardo, 2008).

#### **1.1.4.3. Acumulación de azúcares**

Los componentes principales del azúcar en la uva son la glucosa y fructosa, responsables del sabor dulce y la disminución de la percepción de la acidez, la amargura y la astringencia, además de ser el sustrato utilizado por las levaduras para la fermentación alcohólica (Hufnagel y Hofmann, 2008). Representan más del 90% de los sólidos solubles en las bayas maduras, y se acumulan en la pulpa. Otras formas de azúcares son fundamentalmente sacarosa y pentosas como arabinosa, ramnosa, ribosa, xilosa, entre otros (Keller, 2015).

La acumulación de azúcares depende de la importación de sacarosa a partir de la fotosíntesis de la hoja, hacia las bayas que transpiran más rápidamente (Rebucci *et al.*, 1997). Durante la maduración hay un rápido aumento de la concentración de azúcares, que llega en forma de sacarosa y mediante invertasas es “desglosada” en glucosa y fructosa (Sarry *et al.*, 2004).

Dependiendo de la variedad, el contenido natural de las bayas puede alcanzar aproximadamente 25°Brix, si bien la importación de azúcares puede continuar una vez alcanzado este valor, la concentración de azúcares puede aumentar debido sobre todo a una deshidratación de las uvas (Keller 2015). El contenido de azúcares en las bayas, depende entre varios factores de la capacidad genética del cultivar en la producción de azúcar y la facilidad de transporte de asimilados hacia los racimos (Ferrer *et al.*, 2008; Carbonneau *et al.*, 1978).

El déficit hídrico además de reducir el rendimiento, puede aumentar o disminuir el contenido de azúcares en la baya según la magnitud y el momento en que este ocurre (Keller, 2015). La disminución de la fotosíntesis y exportación de azúcares de las hojas bajo estrés severo, puede reducir la acumulación de azúcar en la baya, fundamentalmente si el déficit se ocasiona durante la maduración (Santesteban y Royo, 2006; Rogiers *et al.*, 2004). En cambio, con un déficit leve, puede aumentar la acumulación de azúcares y mejorar la composición de la fruta, al restringirse el crecimiento de brotes (van Leeuwen *et al.*, 2004; Ojeda *et al.*, 2002).

#### **1.1.4.4. Ácidos y pH**

El ácido málico y el ácido tartárico, son los principales ácidos que se acumulan en la etapa previa al envero, y constituyen entre el 70-90% de los ácidos totales presentes en la baya (Dai *et al.*, 2011). Otros ácidos orgánicos presentes en la baya, son el cítrico, oxálico, succínico y fumárico (Keller, 2015).

La síntesis de los ácidos, ocurre en hojas y bayas jóvenes por metabolización de los azúcares (Ribéreau-Gayon, 1976). La mayor parte de los ácidos, se acumulan en las vacuolas de las células de la pulpa y hollejo de forma libre en etapas tempranas del desarrollo del fruto (Keller, 2010; Sweetman *et al.*, 2009).

Aunque la acidez se expresa comúnmente como equivalentes de ácido tartárico, los ácidos orgánicos están presentes como una mezcla de ácidos libres (málico y tartárico) y sus sales (malato y tartrato) (Smith y Raven, 1979).

La relación entre la "acidez total" y el pH, es representada de forma inversamente proporcional, aunque esta relación no es tan simple (Iland *et al.*, 2011). La alta concentración de ácidos orgánicos en las bayas, activa en las membranas, las bombas de H<sup>+</sup>, que bombean protones hacia las vacuolas, haciendo que el pH del jugo sea bajo (Keller, 2015).

El  $K^+$  tiene implicaciones en el pH de las uvas. La acumulación de  $K^+$  en la baya es baja durante el envero, pero aumenta en la maduración, aumentando el pH (Smart y Robinson 1991).

Las bayas son capaces de sintetizar ácido málico, aunque la mayor parte proviene de la actividad de las hojas. Durante la maduración, este ácido es utilizado como sustrato para la respiración y su concentración cae, este fenómeno se ve potenciado por las altas temperaturas, determinando la suba del pH (Coombe, 1987; Smart *et al.*, 1985).

La acumulación de malato, pre-envero puede disminuir con un déficit en la humedad del suelo y, por ende, la acidez titulable en cosecha, es menor (Keller *et al.*, 2008). Después del envero, la concentración del tartárico disminuye debido a un efecto de dilución con la importación de agua (Hale, 1977 citado por Keller, 2015). En bayas sanas, el ácido tartárico no forma cristales con el  $K^+$  o  $Ca^{++}$  por lo que se mantiene durante la maduración (DeBolt *et al.*, 2004).

#### **1.1.4.5. Compuestos fenólicos**

Estos compuestos se originan a partir del metabolismo secundario, cuyos insumos derivan del metabolismo primario (fenilalanina y malonil-CoA), y tienen como característica la presencia de un anillo bencénico sustituido con uno o varios grupos hidroxilos de cadena lateral funcional (Monagas *et al.*, 2005; Zamora, 2003; Taiz y Zaiger, 1998). Estos compuestos están asociados a parámetros de calidad de uva y vino, debido a sus influencias fundamentalmente en el color, astringencia y aromas (Ribéreau-Gayon *et al.*, 2006; Aronson y Ebeler, 2004). A su vez, se los relaciona con efectos benéficos en la salud humana debido a las propiedades antioxidantes, antiinflamatorias y contra enfermedades cardíacas (Gross, 2004; Alonso *et al.*, 2002; Bertelli *et al.*, 2002).

Químicamente dichos compuestos, pueden ser clasificados en dos grupos, compuestos no flavonoides y flavonoides, basados en su esqueleto carbonado (Zamora, 2003).

Los compuestos no flavonoides, son los principales compuestos presentes en la uva y el vino, estando presentes los ácidos fenólicos, en sus formas libres o esterificadas y los estilbenos. Dentro de los ácidos fenólicos se encuentra el ácido gálico, que se encuentra en todas las partes de la baya y posee propiedades que confieren amargor y astringencia (Hufnagel y Hofmann, 2008). En cuanto a los estilbenos, el representante más abundante y conocido es el resveratrol (3,5,4' - trihidroxiestilbeno). Son compuestos formados por dos anillos bencénicos separados por un puente de eteno (C6-C2-C6) (Jeandet *et al.*, 1991).

Los flavonoides, representan el grupo de mayor importancia, tanto en cantidad como en calidad. Están compuestos por dos anillos bencénicos polihidroxilados, unidos por un heterociclo central oxigenado. Dentro de este grupo están presentes los flavanoles, flavonoles y antocianinas (Kennedy *et al.*, 2006).

Los flavonoles están presentes en todos los tejidos de la planta y en las partes sólidas de la baya (hollejos y semillas), formando oligómeros conocidos como proantocianidinas o taninos condensados (Kennedy *et al.*, 2006). Intervienen en la estabilidad del color, mediante reacciones de co-pigmentación y confieren amargor y astringencia (Terrier *et al.*, 2009). Los hollejos se caracterizan por presentar flavonoles de cadena larga en cambio las semillas presentan proantocianidinas con menor grado de polimerización (McRae y Kennedy, 2011).

Los flavonoles, son compuestos que están presentes en las hojas y en los hollejos de las bayas (Downey *et al.*, 2003). Estos compuestos contribuyen al componente amarillo de los vinos y participan en la copigmentación de las antocianinas (Boulton, 2001).

Los antocianos son los compuestos responsables del color rojo de las uvas y están presentes en las vacuolas de las células del hollejo y también en algunos cultivares en la pulpa (Ojeda, 2007; Monagas y Bartolomé, 2009). En las uvas de *Vitis vinífera*, los antocianos son monoglucósidos de malvidina, peonidina, petunidina o cianidina. También pueden haber

antocianos acilados (la molécula de glucosa está esterificada con un ácido) que puede ser cafeico, acético o p-cumárico (Monagas y Bartolomé, 2009) (Figura 2).

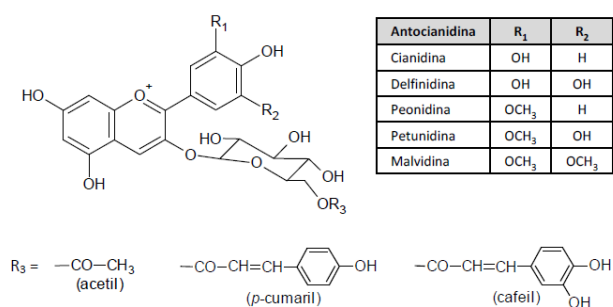


Figura 2: Estructura química de las antocianinas. Tomado de Fanzone, 2012.

La mayoría de los antocianos, existen en medio acuoso, en condiciones de equilibrio químico en donde sus propiedades cromáticas varían según el pH (Glories, 1984).

#### 1.1.4.6. Maduración fenólica y factores que afectan la biosíntesis

Durante la fase I del crecimiento del fruto, se acumulan algunos compuestos fenólicos como los ácidos hidroxicinámicos y las proantocianidinas en semillas y hollejos y es hacia el envero que logran los niveles máximos (Kennedy *et al.*, 2001; Downey *et al.*, 2003). En el final de la fase II, se produce el ablandamiento de las paredes celulares de las bayas, la pérdida de clorofila, el incremento de glucosa y la síntesis de antocianos (Kennedy *et al.*, 2001).

Los antocianos comienzan a acumularse desde el envero y alcanzan su contenido máximo, unas semanas antes de la cosecha (madurez tecnológica) y disminuyen hacia el final del período (González-Neves y Ferrer, 2005; Peña-Neira *et al.*, 2004; Kennedy *et al.*, 2002). Las proantocinidinas, se comportan de manera diferencial según el tejido, en las semillas a partir del envero comienzan a disminuir debido a la oxidación (Kennedy *et al.*, 2000), en cambio en los hollejos estos permanecen constantes o disminuyen levemente (Kennedy *et al.*, 2001).

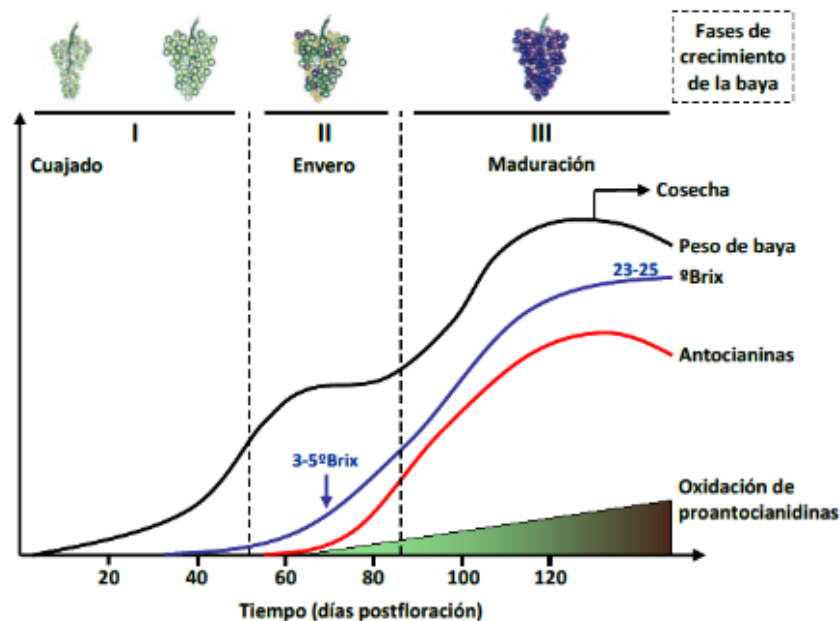


Figura 3: Etapas del crecimiento del fruto y dinámica de acumulación de azúcares y flavonoides. Tomado de Fanzone (2012) adaptado de Picero (2008).

Dentro de los factores que afectan la biosíntesis de los compuestos fenólicos, el más importante es el factor variedad, siendo este un criterio que es utilizado para verificar la autenticidad y diferenciación de uvas y vinos (Berente *et al.*, 2000).

El estado hídrico de la planta sería uno de los factores con mayor influencia en la calidad de la uva, aunque su efecto sobre los fenoles es diferente según el grupo. Existe una influencia directa, entre el déficit de agua y la mejora de la síntesis de antocianinas (Ojeda *et al.*, 2002; Roby y Matthews, 2004). Esto explicado, por una mejora en la exposición de la fruta y un efecto estimulante del ABA sintetizado por las raíces que estimulan la expresión de los genes responsables de la biosíntesis de flavonoides (Castellarin y Di Gaspero, 2007; Romero *et al.*, 2010). La acumulación de taninos, flavonoles por el contrario, parecen ser más insensibles o independientes al contenido de agua en la planta (Downey *et al.*, 2006).

Las variables climáticas que más influyen sobre la composición fenólica de las uvas es la luz y la temperatura, encontrándose ambos parámetros muy relacionados en su accionar (Spayd *et al.*, 2002). El efecto de estas variables climáticas, parece estar relacionado a un

estímulo en la vía de síntesis, la enzima fenilalanina amonio liasa (PAL) es dependiente de estos factores (Haselgrove *et al.*, 2000). Las temperaturas diurnas y nocturnas moderadas en el entorno de 15 a 25°C favorecen la biosíntesis de antocianinas (Mori *et al.*, 2005), mientras que bayas expuestas a temperaturas superiores a 30-35°C, la síntesis se ve afectada y se acelera su degradación (González-Neves, 2005, Spayd *et al.*, 2002; Mori *et al.*, 2005). La exposición de los racimos a la radiación solar puede ocasionar un aumento de la temperatura de entre 5 a 10°C, por tanto, su efecto sobre la acumulación va a depender de que la temperatura no sea excesiva para mantener un balance adecuado entre la síntesis y la degradación (Mori *et al.*, 2007; Keller, 2015)

## **2. MATERIALES Y MÉTODOS**

### **2.1. CONDICIONES DEL ENSAYO**

El ensayo se instaló en un viñedo comercial del sur de Canelones, Uruguay (Lat.:34° 37' S; 56° 17' W) durante las temporadas 2014/2015 (ciclo 2015) y 2015/2016 (ciclo 2016). Se utilizó viñedos de las variedades Tannat y Syrah, injertadas sobre 3309C, conducidas en espaldera, con filas orientadas N-S de 18 años de edad. Las distancias entre plantas, en Tannat corresponde a 2,4 m \* 1 m (4166 plantas por hectárea) y Syrah a 2,5 m \* 1 m (4000 plantas por hectárea). Las parcelas se encontraban contiguas entre sí, asegurando las mismas condiciones edáficas y meteorológicas para las dos variedades. El sistema de poda en Tannat fue guyot doble (media de 6 yemas/cargador) y en Syrah fue royat (media 2 yemas/pitón). El suelo fue un Brunosol arcilloso en todo el perfil (56% de arcilla), con una fracción transpirable estimada en 140 mm a partir de fosas pedológicas realizadas en el viñedo. En el análisis pedológico y químico no se detectaron limitantes edáficas, el contenido de materia orgánica correspondió al 2,5%. La profundidad radicular cercana a 0,8 metros con predominio de un 75% de raíces de entre < 3 a 5 mm en los primeros 15 cm de suelo. El control de la vegetación debajo de la fila se realizó mediante herbicida y a nivel de la entrefilas empastado permanente (compuesto de gramíneas y asteráceas) con cortes periódicos. El manejo general del viñedo estuvo a cargo del viticultor.



Para controlar el aporte de agua de lluvia y modificar las condiciones micro-meteorológicas, a partir del 50% de envero (35 EYL) se cubrió el suelo con una cobertura sintética (2015 el 8 de enero; 2016 el 14 de enero). La cobertura utilizada fue el polietileno de color blanco en ambas caras, de 220 micrones de espesor, con tratamiento UV. El mismo nylon fue utilizado durante las dos temporadas. En la medida que el ensayo se realizó en un viñedo comercial, para facilitar las diferentes técnicas de cultivo al productor, los tratamientos cubiertos se realizaron en una sola fila por variedad (45 plantas), abarcando todo el largo de la fila y las entrefilas contiguas.

*Los tratamientos que se realizaron fueron:* 1. Tannat sin cubrir (SC); 2. Tannat Cubierto (C); 3. Syrah sin cubrir (SC) y 4. Syrah cubierto (C). En cada tratamiento fueron seleccionadas 20 plantas de similar peso de poda, para asegurar condiciones de vigor comparable. En este grupo de plantas se le realizaron las diferentes mediciones.

## **2.2. EVALUACIONES METEOROLÓGICAS Y MICRO-METEOROLÓGICAS**

*Datos climáticos:* Análisis del meso-clima a partir de información climática obtenida de la estación meteorológica ubicada en la localidad de Las Brujas perteneciente al INIA (Altitud 32 m; Latitud 34°40' S; Longitud 56°20' O; distancia al mar 14,69 Km.) que cumple con las normas de la OMM (Organización Meteorológica Mundial), situada a unos 10 km del ensayo. Se evaluó temperatura promedio, temperatura máxima, temperatura mínima y precipitaciones con el objetivo de calcular los Índices Bioclimáticos (Tonietto y Carbonneau, 2004) y adaptados por Ferrer (2007). Los registros pluviométricos se tomaron además a nivel predial.

Se calcularon los siguientes índices:

- Grados Día Winkler (GDD): basado en el cálculo de la suma de temperaturas medias diarias por encima de 10°C (cero fisiológico de la Vid). Calculado a partir del 1 de setiembre hasta cosecha en nuestras condiciones (Winkler *et al.*, 1974).
- Índice Heliotérmico (IH): se calcula en base a las temperaturas máximas y medias superiores a 10°C de cada día (Huglin, 1978).

- Índice de Frescor de Noches (IF): Calculado como la temperatura media nocturna del mes anterior de maduración, para nuestras condiciones febrero (Tonietto, 1999).
- Temperatura media máxima del mes más cálido: en nuestras condiciones enero (Prescott, 1969, Ferrer, 2007).
- Número de días con temperaturas mayores a 30°C.
- Índice de sequía o índice de balance hídrico potencial (IS): resultado de los aportes y pérdidas de agua, para determinado suelo en un período de tiempo. Su cálculo se basa en la siguiente ecuación (Riou,1994):

$$IS = W = W_o + P - Tv - Es$$

Siendo  $W_o$ : reserva hídrica útil del suelo explorable por las raíces;  $P$ : pluviometría;  $Tv$ : transpiración potencial del viñedo;  $Es$ : evaporación directa a partir del suelo.

*Evaluación del microclima:* en cada tratamiento se instalaron tres sensores de temperatura (Ibutton thermochron USA, DS-1921g,  $\pm 0.5$ ), humedad (Hobo PRO V2, U23-002 USA;  $\pm 0.2$ ) y luminosidad (Hobo Pendant Temperature/Light 8K UA-002-08, U23-002 USA;  $\pm 0,2$ ) dentro de la canopia. A nivel de suelo se registró la temperatura a dos profundidades (5 y 20 cm) con sensores Ibutton thermochron (USA, DS-1921g,  $\pm 0.5$ ), tres sensores por tratamiento. Estos sensores de suelo y canopia se instalaron dos semanas previas a la instalación de la cobertura.

## 2.3. EVALUACIONES EN PLANTA

### 2.3.1. Estado hídrico

*Medidas de relaciones hídricas:* El estado hídrico de la planta fue estimado a partir del potencial hídrico foliar ( $\Psi$ ), se realizó mediante la técnica de Scholander *et al.*, (1965), utilizando una cámara de presión (“Soil moisture equipment” mod. 3005 1412, USA). La unidad de medida utilizada es el Megapascal (Mpa). Para la determinación del Potencial hídrico foliar de base ( $\Psi_{fb}$ ) se tomaron 10 hojas por tratamiento (5 del lado este y 5 del lado

oeste) adultas y sanas, antes de la salida del sol. A su vez, se determinó en el mismo día el potencial hídrico de hoja al medio día solar ( $\Psi_{fm}$ ). El estado hídrico obtenido fue categorizado según los valores de referencia de Carbonneau (1998) (cuadro 3). Estas determinaciones se realizaron a partir del estado 27 según la escala de Eichhorn y Lorenz (1977) (EYL) modificada por Coombe (1995).

En dos períodos, enero (35 EYL) y mediados de maduración (36 de EYL) (para 2015: el 21/01 y el 11/02; para el 2016: 19/01 y el 4/02 respectivamente), se determinó con la misma metodología el potencial hídrico de hoja diario ( $\Psi_{fd}$ ) para evaluar el tiempo de hidratación de cada variedad. Se realizó, para ambas variedades, desde el amanecer, cada 2 horas, hasta que se alcanzó el estado de hidratación próximo al de partida.

Cuadro 3: Potencial hídrico preamanecer y nivel de estrés (Adaptado de Carbonneau, 1998)

$\Psi_b$	Estado hídrico de la vid
$0 \text{ MPa} \geq \Psi_{wb} \geq -0,2 \text{ MPa}$	Estrés hídrico leve o ausente
$-0,2 \text{ MPa} \geq \Psi_{wb} \geq -0,4 \text{ MPa}$	Estrés hídrico leve a moderado
$-0,4 \text{ MPa} \geq \Psi_{wb} \geq -0,6 \text{ MPa}$	Estrés hídrico moderado a severo
$-0,6 \text{ MPa} > \Psi_{wb}$	Estrés hídrico severo

Para la determinación del comportamiento isohídrico o anisohídrico de la variedad Tannat en referencia a la variedad Syrah se utilizó la relación entre  $\Psi_{fm}$  y  $\Psi_{fb}$ , y su relación con la conductancia estomática ( $g_s$ ). En simultáneo con las medidas de estado hídrico, se realizaron medidas de conductancia estomática, utilizando un porómetro Decagon Devices (modelo SC-1, USA). Dichas medidas se realizaron el mismo día para las dos variedades.

Se calculó para el ciclo del cultivo, la integral de estrés, según la sumatoria de los potenciales hídricos diarios mediante la siguiente fórmula (Myers, 1988):

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

Siendo,  $S_{\psi}$ : La integral de estrés;  $\bar{\psi}_{i,i+1}$  es la media de  $\Psi_{fb}$  para cada intervalo de  $i, i+1$ ;  $n$  es el valor máximo de  $\Psi_{fb}$  determinado durante el período de estudio.

### **2.3.2. Eficiencia del uso del agua (EUA)**

Se estimó a tres niveles:

1- *Discriminación isotópica ( $\delta^{13}C$ )*: en dos órganos, hojas y bayas. En el caso de las hojas solo se realizó durante el ciclo 2016 en tres estados fenológicos 34-36-38 EyL. Se tomaron 5 hojas jóvenes de cinco plantas diferentes y fueron secadas en estufa a 60 °C hasta peso constante. Luego del secado fueron molidas mediante un molino de cuchillas fijas (Marconi MA-580). Las muestras fueron pesadas y colocadas en cápsulas de estaño para realizar las mediciones. Para el caso de las bayas, el análisis se realizó en las dos temporadas correspondientes al ensayo. Se tomaron de cada tratamiento 50 bayas al azar de varios racimos. El mosto obtenido se secó mediante el uso de un desecante Chromosrob®W/AW (Suiza). La determinación se realizó en un espectrómetro de masa Thermo Finnigan Deltaplus (Bremen, Alemania). La relación isotópica se expresó en partes por mil o ‰.

2- *EUA del cultivo ( $EUA_c$ )*: relación entre el consumo de agua del ciclo (Williams y Ayars, 2005) y la producción de materia seca en hojas, madera y racimos.

3- *EUA a nivel de producción de azúcares ( $EUA_{az}$ )*: relación entre el consumo de agua del ciclo y la producción de azúcares. En el estado 38 EyL, se tomaron muestras de 250 bayas por triplicado según protocolo propuesto por Carbonneau *et al.*, (1991), determinándose sólidos solubles por refractometría (Atago, Master-T, Japón).

### **2.3.3. Crecimiento vegetativo y componentes del rendimiento**

*Crecimiento vegetativo y fenograma*: el crecimiento del pámpano principal y feminelas fue determinado en cuatro momentos fenológicos (25, 35, 36 y 38). Se midieron 10 pámpanos por tratamiento elegidos al azar. Los estados fenológicos se registraron según la escala de Eichhorn y Lorenz (1977) modificada por Coombe (1995), con una cadencia semanal.

*Componentes del rendimiento*: en cosecha, en 20 plantas por tratamiento se determinó individualmente: uva sana y enferma (kg), número de racimos, peso de racimos y peso de

baya (g) (balanza Ohaus Scout, Ohaus Corp., USA). Para la determinación del estado sanitario (enfermo) se tuvo en cuenta los racimos con más de 5% de incidencia de podredumbres. Sobre una muestra de 50 bayas, en cosecha, se determinó los componentes físicos de la baya. Se pesaron y separaron los hollejos, semillas y la pulpa. Los hollejos y semillas se secaron con papel de filtro (balanza Ohaus Scout -Ohaus Corp., USA). El peso de la pulpa fue estimado por diferencia entre el peso de baya y los pesos de hollejos y semillas.

*Producción de materia seca y peso de poda:* en cosecha se determinó la partición de materia seca por órgano (hoja, pámpano y racimos), se tomaron los mismos 10 pámpanos por tratamiento que fueron elegidos para el seguimiento del crecimiento, se registró el peso fresco por cada órgano. Se secaron en estufa a 65 °C hasta peso constante, se registró el peso seco mediante balanza digital de precisión (balanza Ohaus Scout, Ohaus Corp., USA). Se determinó durante el invierno el peso de poda, mediante una balanza digital (Ohaus, EB series, USA) sobre las mismas 20 plantas en que fue evaluada la cosecha. Se calculó el índice de Ravaz (Peso de uva /peso de madera de poda, Champagnol, 1984), como indicador del equilibrio fisiológico de la planta.

#### **2.3.4. Composición de la uva**

*Composición de la baya durante la maduración:* a partir del 50% de envero en los estados fenológicos 35, 36, 37 y 38 según Eichhorn y Lorenz (1977) modificados por Coombe (1995), se tomaron muestras de 250 bayas por duplicado según protocolo propuesto por Carbonneau *et al.*, (1991). El muestreo fue realizado en el mismo día para todos los tratamientos de forma de comparar la dinámica de maduración y composición básica de la uva. Según método de la O.I.V (2009), se determinó: sólidos solubles por refractometría (Atago, Master-T, Japón); pH por potenciometría (Hanna pH/ORP, HI 2211, USA) y acidez total, por titulación (Bureta Mohr) y se determinó el peso de la baya (balanza Ohaus Scout, Ohaus Corp., USA).

El criterio utilizado para definir el momento de cosecha fue el pH, cuando este alcanzara valores superiores a 3,25; máximo de azúcares, evolución del peso de la baya y

estado sanitario de la uva. En cada cultivar, los tratamientos fueron cosechados el mismo día (2015: Syrah: 12/02/2015 – Tannat: 20/02/2015; 2016: Syrah: 22/02/2016 – Tannat: 11/03/2016).

En cosecha se determinó:

- a) La *composición básica* como fue descrita en el párrafo anterior.
- b) El *contenido de antocianos*, tomándose tres muestras de 250 bayas para determinar el potencial polifenólico (potencial total en antocianos ApH 1,0 y potencial de antocianos extraíbles ApH 3,2), siguiendo la metodología propuesta por Glories y Augustin (1993) modificado por González-Neves (2005).
- c) El *contenido de ácidos orgánicos* (tartárico y málico) mediante cuantificación por HPLC. Las muestras fueron filtradas con filtros Millipore y se inyectó en el sistema HPLC. El sistema consistió de una bomba Shimadzu LC-20AD-vp. La elución y separación de los ácidos orgánicos se realizó empleando una columna CP18 como fase estacionaria y como fase móvil se utilizó H<sub>2</sub>O MQ, pH 2,3 ajustado con H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub>. Los ácidos orgánicos fueron detectados por absorbancia a 210 nm con un detector de arreglo de fotodiodo. Los picos de los diferentes ácidos orgánicos se identificaron por comparación con los tiempos de elución de cada ácido orgánico inyectado solo, y posteriormente en mezclas con otros ácidos orgánicos.
- d) Los hollejos fueron liofilizados mediante un liofilizador (Labotec, LGJ-12, China) durante 7-10 días, las muestras se guardaron en freezer hasta su utilización. Para la reconstitución de los hollejos liofilizados, se colocaron 7,5 gr de hollejo en 40 ml de solución de medio vínico (5 gr de ácido tartárico/litro), con una maceración de tres horas para la obtener la mayor extracción. En este material se determinó el perfil de antocianos mediante cromatografía líquida de alta eficacia, acoplada a detector de fotodiodos alineados (HPLC-DAD). Se utilizó un equipo Merck de Hitachi, con bomba modelo L-6200, inyector automático 21 modelo L-7200, detector de arreglo de fotodiodos alineados modelo L-7455, y una columna Waters Nova-pack C18, de 3,9 mm de diámetro interno y con 300 mm de largo. Las rectas de calibrado utilizadas se obtuvieron a 280 y 520 nm. Los antocianos fueron identificados indirectamente mediante la comparación de su espectro de absorción

y tiempo de retención con respecto a la malvidina 3-glucósido. Se identificaron los 3-glucósidos de delfinidina, cianidina, petunidina, peonidina y malvidina, los ésteres 6-acetil de los 3-glucósidos de delfinidina, cianidina, petunidina, peonidina y malvidina, los ésteres 6-p-cumaril de los 3-glucósidos de delfinidina, cianidina, petunidina, peonidina y malvidina.

### 2.3.5. Análisis estadístico

Los datos obtenidos fueron analizados mediante Análisis de Varianza y por comparaciones de medias por Fisher con una probabilidad de error ( $p < 0,05$ ) con paquete estadístico INFOSTAT® (2013). Gráficas procesadas mediante el programa Origin (OriginLab, Northampton, USA).

## 3. RESULTADOS

### 3.1. CONDICIONES METEOROLÓGICAS Y MICRO-METEOROLÓGICAS DE LOS AÑOS DE ENSAYO

Cuadro 4: Índices bioclimáticos calculados para la los dos temporadas de cultivo y la serie histórica.

Año	GD <sub>10</sub>	IH	IF (°C) *	Mes Más cálido (°C) **	Nº de días T>30°C	IS
2015	1709	2206	16	27,8	34	-14,5
2016	1782	2329	18	29,8	43	-16,8
Período (1972-2000)	1629	2158	17	29	30	50

GD10: Grados días base 10. IH: Índice Heliotérmico. IF: Índice de Frescor de Noches. T: Temperatura. \* Calculado para el mes de febrero. \*\* Calculado para el mes de enero.

Los índices bioclimáticos calculados para la temporada 2015 se corresponden con el promedio histórico (cuadro 4). En cambio, el 2016, presentó valores mayores para todos los índices calculados, con respecto a la serie histórica y el primer año de estudio. Cabe resaltar,

que durante el período de maduración las noches fueron más cálidas en el 2016, presentando también más días con temperaturas mayores a los 30°C.

En la figura 4 se observa la evolución de la temperatura (máxima, media y mínima), precipitaciones y la evapotranspiración potencial (ETP) para los dos ciclos de cultivo, expresados como media mensual. Para el componente térmico, la dinámica es similar para los dos ciclos de cultivo (setiembre a marzo), siendo el 2016 levemente superior (1,6 °C temperatura media).

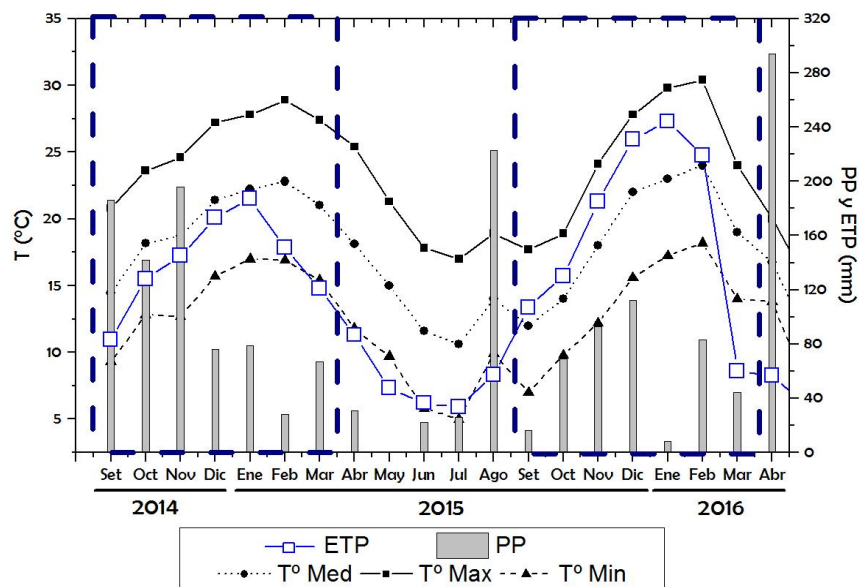


Figura 4: Caracterización climática de la zona de estudio. De izquierda a derecha 2014-2016. Rectángulos punteados ciclo de cultivo (Setiembre-Marzo). Elaborado en base a datos de la Estación Meteorológica del INIA Las Brujas. Datos de precipitaciones registradas en el predio

T° Med: Temperatura media en grados Celsius. T° Max: Temperatura Máxima en grados Celsius. T° Min: Temperatura mínima. ETP: Evapotranspiración potencial según Penman. PP: Precipitaciones.

En cambio, el componente hídrico, para la temporada 2015 presentó precipitaciones mayores durante la primavera (04 – 27 EYL) muy superiores a la ETP para los meses de setiembre y noviembre. Luego durante los meses estivales, las precipitaciones disminuyeron y se encontraron por debajo del promedio mensual (100 mm) y la ETP fue superior. La



precipitación para todo el ciclo de cultivo represento 778 mm. En cambio, la temporada 2016, con un acumulado de 484 mm, presentó una mayor demanda para todos los meses del ciclo lo que se representa con un mayor índice de sequía, asociado con a la mayor cantidad de días con temperaturas extremas y a mayor temperatura (cuadro 2). Se remarca para esta temporada, un período de maduración particular, con un mes de enero muy seco (8 mm) y un febrero con lluvias por debajo del promedio histórico mensual (83 vrs. 112 mm).

### **3.1.1. Temperatura del suelo**

En la figura 5, se presenta la evolución de la temperatura del suelo. En la medida que las parcelas de estudio eran contiguas y las características del suelo fueron similares, la información de temperatura se presenta como promedio de las dos condiciones para las dos variedades. Para el ciclo 2015, luego de 12 días de la colocación de las coberturas plásticas se visualizó un aumento de la temperatura diaria promedio, siendo a lo largo del ciclo de 1,83 °C superior bajo cobertura, con un rango de variación de 3,75 °C a 0,06 °C. Esta diferencia representó, desde el momento de colocación de la cobertura (69 días), una acumulación térmica de 102 °C más. A su vez se puede observar que la temperatura de suelo, para ambas condiciones presenta una dinámica de variación temporal de temperatura comparable.

Para el ciclo 2016, se realizó la misma determinación, pero se agregó un sensor de temperatura a 5 cm en la condición de cobertura. La temperatura a 5 cm de la superficie, presenta una variación mayor y una respuesta casi inmediata del aumento de temperatura, siendo en el ciclo un promedio de 1,92 °C superior a la condición sin cobertura (variación 3,4°C - 0,1°C). La temperatura a 20 cm de profundidad fue similar al ciclo 2015, registrándose las diferencias térmicas a partir de los 11 días de colocada la cobertura. En este año la variación de la temperatura fue sensiblemente menor a la registrada en 2015, se mantuvo a favor de la cobertura (0,81°C). Las diferencias más importantes fueron al final del ciclo (a partir de los 30 días de cobertura). En este año la diferencia en la acumulación térmica fue de 50 °C a lo largo del período de cobertura (63 días).

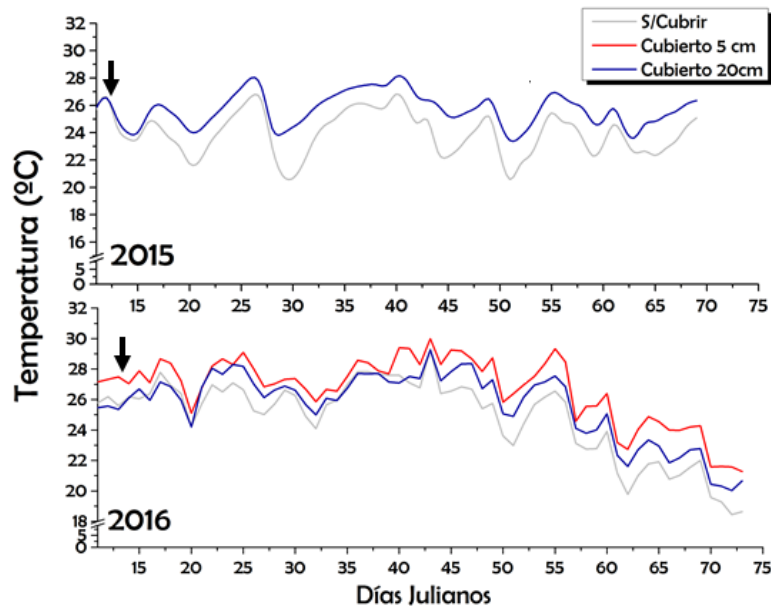


Figura 5: Evolución de la temperatura del suelo (°C), expresado como promedios diarios según condición de cobertura para las temporadas 2015 y 2016. Flechas indican fecha de colocación de la cobertura.

### 3.1.2. Micro-clima en la zona del racimo

#### 3.1.2.1. Temperatura de canopia

La temperatura en la zona próxima a los racimos, no mostró diferencias significativas entre años ( $p$ -valor=0,67) o tratamientos, ( $p$ -valor=0,87;  $p$ -valor=0,65 respectivamente). En el cuadro 5, se presenta la información con el porcentaje de horas con temperatura según categorías para el período de maduración de la uva por variedad y tratamiento. En las dos variedades y los dos años, el porcentaje de horas con temperaturas superiores a 35°C fue superior cuando se colocó polietileno en el suelo.

Cuadro 5: Porcentaje de horas según categoría de temperatura por variedad y tratamiento.

Categorías de temperatura (°C)	Tannat		Syrah	
	Cubierto	Sin Cubrir	Cubierto	Sin Cubrir
<b>2015</b>				
<b>Menos de 25</b>	57	57	53	50
<b>Entre 25 y 30</b>	16	16	16	14
<b>Entre 30 y 35</b>	15	20	16	21
<b>Más de 35</b>	12	7	15	15
<b>2016</b>				
<b>Menos de 25</b>	56	55	53	55
<b>Entre 25 y 30</b>	17	16	11	15
<b>Entre 30 y 35</b>	14	18	16	16
<b>Más de 35</b>	13	11	10	3

### 3.1.2.2. Humedad relativa

Los resultados muestran un efecto año, el año 2015 presentó mayor humedad relativa con respecto al 2016 (2015: 76% - 2016: 69%; p-valor=<0,0001). Con respecto a la cobertura, independientemente de la variedad y el año, la condición de cobertura presentó un menor porcentaje de humedad relativa, 67% frente a 73% sin cobertura (p-valor=<0,0001). Considerando la variedad se obtiene resultados similares.

Cuando se analiza la humedad relativa durante todo el ciclo de maduración por año y variedad no se observan diferencias significativas entre tratamientos, siendo para el 2015 en Tannat 74,7% y Syrah 72,5% para cada tratamiento. En el 2016 en Tannat 72,1% y Syrah 67,7% para cada tratamiento.

En el cuadro 6, se analiza el porcentaje de horas según categorías de humedad relativa, para el período de maduración. Independientemente de la variedad se puede observar que, bajo cobertura del suelo, hay un mayor porcentaje de horas con %HR inferior al 80% en a la condición con cobertura.

Cuadro 6: Porcentaje de horas de humedad relativa según categoría, variedad y tratamiento.

Categorías de %HR	Tannat		Syrah	
	Cubierto	Sin Cubrir	Cubierto	Sin Cubrir
<b>2015</b>				
Menos 80%	52	49	56	49
80 - 90 %	21	28	17	20
90% a más	27	23	27	31
<b>2016</b>				
Menos 80%	55	53	63	57
80 - 90 %	17	19	17	20
90% a más	28	28	20	23

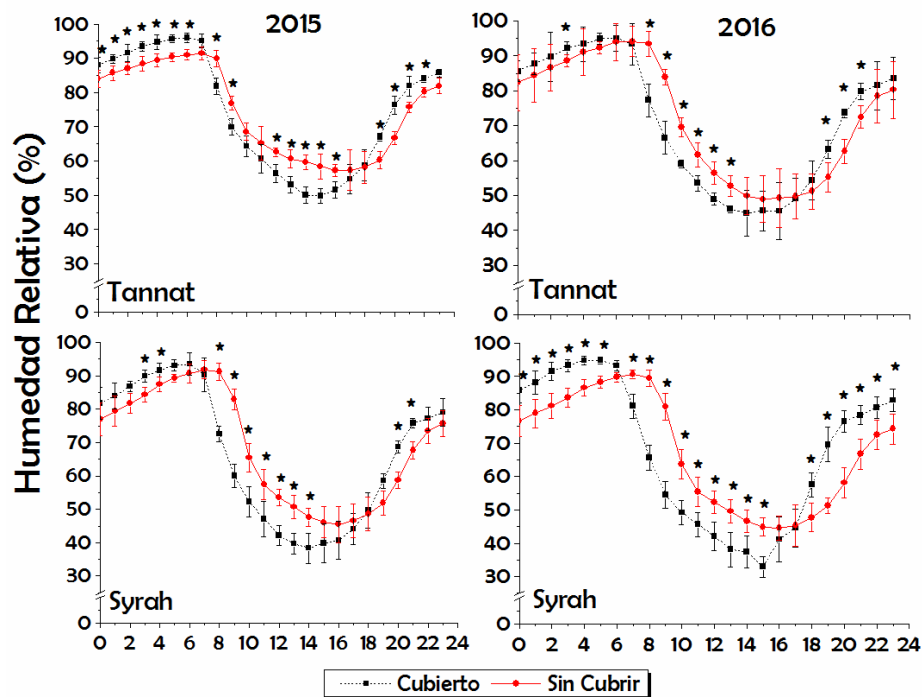


Figura 6: Evolución horaria del %HR, expresado como promedios diarios según condición de cobertura para las temporadas 2015 y 2016.

Si se analiza la evolución diaria de la humedad relativa (figura 6), expresada como promedio horario, se observa una dinámica de variación según tratamiento que se repite para las dos variedades y años de estudio. A partir de las 07:00 – 08:00 AM, hasta las 05:00 – 06:00 PM, el %HR fue significativamente menor bajo condición de cobertura, invirtiéndose esta situación en las horas nocturnas.

### 3.1.2.3. Luminosidad

Independientemente del tratamiento y la variedad, el efecto año está presente en la luminosidad en la zona de racimos expresada como densidad de flujo de fotosintéticos (PPFD) en  $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ . El año 2015 presenta mayor luminosidad promedio  $307 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$  con respecto al 2016 con  $232 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$  ( $p\text{-valor} < 0,001$ ).

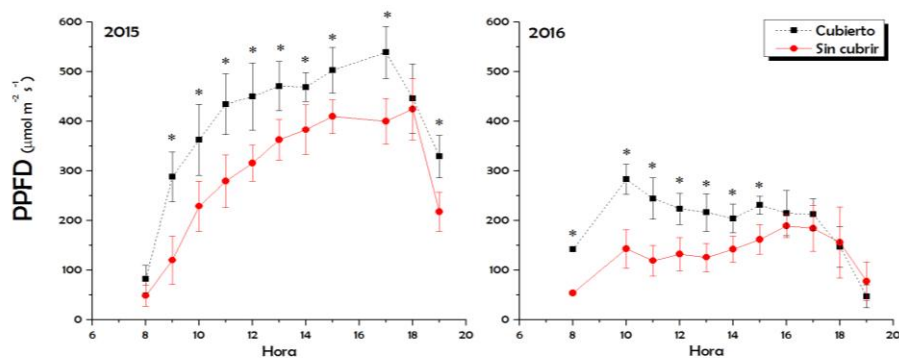


Figura 7: Evolución horaria de la luminosidad incidente (PPFD) a nivel de racimos, expresado como promedios diarios según condición de cobertura para las temporadas 2015 y 2016.

\* Diferencias significativas según Fisher. Media más desvío estándar.

Cuando se considera la evolución horaria (figura 7) según tratamiento, se observa para la condición bajo el polietileno una mayor luminosidad para la mayoría de las horas del día, para los dos años de estudio, frente a la condición de suelo sin cobertura. A su vez, los tratamientos con C del suelo presentan mayor luminosidad en la zona de racimos que los tratamientos SC (cuadro 7).

Cuadro 7: Densidad de flujo de fotones fotosintéticos ( $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ) según condición de cobertura de suelo y año.

Año	Condición		
	Cubierto	Sin Cubrir	p-valor
2015	348	265	<0,0001
2016	196	134	<0,0001

\* Diferencias significativas según Fisher. Media más desvío estándar.

### 3.1.3. Parámetros micro-climáticos según estado fenológico

Cuadro 8: Registro de temperatura, humedad relativa y luminosidad a nivel de racimos según estado fenológico para Tannat, para los ciclos 2015-2016.

Estado Fenológico EyL	35 (12/01/15)		36 (20/01/15)		37 (02/02/15)		38 (20/02/15)	
	Cubierto	Sin Cubrir	Cubierto	Sin Cubrir	Cubierto	Sin Cubrir	Cubierto	Sin Cubrir
<b>2015</b>								
Tmedia (°C)	28 (36-21)	28 (37-21)	22 (28-17)	21 (26-24)	26 (37-18)	26 (36-24)	19 (22-14)	19 (22-13)
Horas con T > 35°C	4	5	0	0	3	2	0	0
HR media (%)	66 (94-40)	72 (93-41)	71 (95-44)	87 (95-78)	72 (95-45)	76 (94-58)	72 (93-41)	88 (94-24)
Horas con HR > 90%	4	8	4	10	6	7	4	13
Lum media (μmol m <sup>-2</sup> s <sup>-1</sup> )	467 (791-4)	360 (612-10)	245 (510-28)	120 (242-17)	358 (739-42)	294 (616-13)	86 (229-30)	54 (153-54)
<b>2016</b>								
	35 (19/01/16)		36 (11/02/16)		37 (22/02/16)		38 (11/03/16)	
Tmedia (°C)	25 (36-15)	25 (38-14)	27 (42-14)	27 (42-14)	27 (37-20)	27 (40-20)	17 (21-15)	18 (22-15)
Horas con T > 35°C	4	3	8	7	4	5	0	0
HR media (%)	63 (98-19)	66 (97-24)	60 (97-20)	62 (96-25)	73 (99-39)	74 (100-43)	87 (100-56)	91 (100-68)
Horas con HR > 90%	8	8	6	6	7	6	14	17
Lum media (μmol m <sup>-2</sup> s <sup>-1</sup> )	202 (782-2)	145 (510-12)	146 (586-4)	91 (306-6)	302 (561-42)	148 (510-8)	373 (876-24)	183 (550-5)

Valores promedio y rango (máximo y mínimo) - T: Temperatura de canopia – HR: Humedad Relativa – Lum: Luminosidad

Los registros micro-climáticos en la zona de racimos en el período de maduración de Tannat en 2015 presentan un inicio (35 EyL) con temperaturas que oscilan en los 28°C promedio para ambos tratamientos y con una mayor luminosidad bajo C. Durante la maduración se registran temperaturas menores (22 °C), mayor humedad relativa y menor luminosidad promedio para los dos tratamientos. En el estado 38 EyL, las condiciones meteorológicas continuaron con temperaturas más frescas y de menor luminosidad en los dos

tratamientos. En el 2016 en relación 2015, las condiciones micro-climáticas durante la maduración muestran mayor temperatura para todo el período, alcanzando temperaturas de 42°C y un número mayor de horas con temperatura superior a 35°C. Además, la humedad relativa en el estado 38 EyL (2015: 80% - 2016: 90%) y menor luminosidad para todo el período de maduración que lo registrado en 2015 (cuadro 8).

Cuadro 9: Registro de temperatura, humedad relativa y luminosidad a nivel de canopia según estado fenológico para Syrah, para los ciclos 2015-2016.

Estado Fenológico EyL	35 (08/01/15)		36 (12/01/15)		37 (26/01/15)		38 (12/02/15)	
	Cubierto	Sin Cubrir	Cubierto	Sin Cubrir	Cubierto	Sin Cubrir	Cubierto	Sin Cubrir
<b>2015</b>								
Tmedia (°C)	25 (35-20)	25 (33-20)	29 (40-20)	28 (37-17)	28 (40-19)	27 (37-24)	25 (37-15)	23 (36-15)
Horas con T > 35°C	1	0	8	3	8	4	4	3
HR media (%)	73 (95-33)	54 (84-29)	70 (92-40)	69 (84-43)	60 (92-18)	71 (94-47)	64 (92-32)	80 (100-47)
Horas con HR > 90%	0	0	2	0	3	5	2	11
Lum media (μmol m <sup>-2</sup> s <sup>-1</sup> )	526 (816-229)	521 (1428-134)	503 (791-88)	387 (612-73)	360 (612-47)	253 (484-30)	438 (637-114)	367 (816-38)
<b>2016</b>								
	35 (19/01/16)		36 (26/01/16)		37 (11/02/16)		38 (22/02/16)	
Tmedia (°C)	29 (43-20)	25 (38-14)	25 (33-20)	23 (36-14)	28 (39-21)	27 (40-14)	25 (37-16)	26 (36-19)
Horas con T > 35°C	6	3	0	1	5	6	2	2
HR media (%)	62 (99-18)	63 (93-26)	61 (92-19)	60 (86-24)	59 (98-12)	59 (91-24)	72 (100-28)	73 (96-44)
Horas con HR > 90%	7	4	3	0	6	2	4	6
Lum media (μmol m <sup>-2</sup> s <sup>-1</sup> )	278 (597-2,4)	270 (510-2,4)	225 (612-2,3)	45 (161-4,4)	210 (484-14)	56 (218-22,5)	302 (561-41)	148 (510-8,2)

Valores promedio y rango (máximo y mínimo) - T: Temperatura de canopia – HR: Humedad Relativa – Lum: Luminosidad

En el caso de Syrah, las principales diferencias en los registros micro-climáticos con respecto a Tannat, se registran en los estados 37 y 38 EyL, debido al ciclo más corto que presenta Syrah. El 2015, presenta una mayor cantidad de horas con temperaturas mayores a

35°C en la zona próxima al racimo en el tratamiento C. La humedad relativa al inicio de la maduración fue menor para ambos tratamientos y aumentó a lo largo del período de maduración, registrándose mayor cantidad de horas con humedad relativa superior al 90% en el tratamiento SC. Con respecto a la luminosidad se registró una mayor cantidad de horas con más de 600  $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$  bajo cobertura de suelo (cuadro 3). En 2016, el registro térmico muestra un inicio de maduración con temperaturas más elevadas, con mayor amplitud térmica. A su vez se registró más humedad relativa y menor luminosidad que lo registrado en 2015 (cuadro 9).

## **3.2. CARACTERIZACIÓN HÍDRICA, ESTOMÁTICA Y EFICIENCIA EN EL USO DEL AGUA.**

### **3.2.1. Estado hídrico de la planta**

La evolución del  $\Psi_{fb}$ , presenta niveles de estrés hídrico ausente durante la floración (150 mm de precipitaciones durante la floración) que se incrementa a moderado, para las dos variedades durante la temporada 2015 (figura 8). Para el ciclo 2015, a partir de inicio de los tratamientos se observa una diferencia en el comportamiento hídrico según la variedad. Syrah C, mantuvo las plantas en valores de  $\Psi_{fb}$  más negativo durante todo el período de maduración con diferencias significativas con respecto a las plantas SC.

Tannat, en cambio, las plantas en el tratamiento C no evidenciaron diferencias y la dinámica hídrica fue similar a la que presentó el tratamiento SC. Al inicio de la maduración (34 EYL) las plantas de ambos tratamientos presentaron rangos de  $\Psi_{fb}$  similares. Al avanzar la maduración el nivel hídrico fue disminuyendo registrando el menor valor al momento de cosecha (38 EYL).



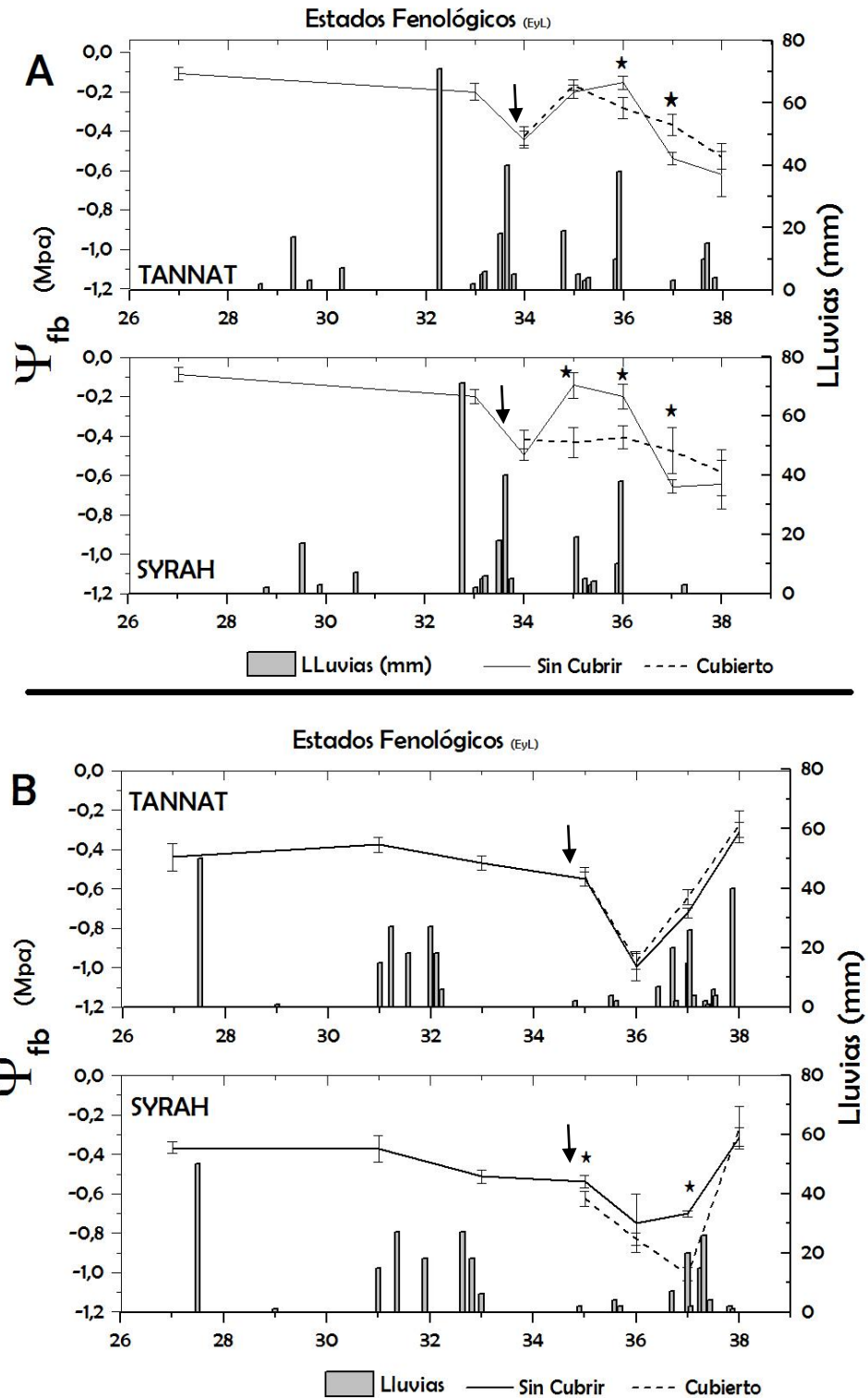


Figura 8: Evolución del potencial hídrico foliar de base. A- Temporada 2015 B- Temporada 2016. Estados fenológicos, y precipitaciones registradas en el predio. Diferencias significativas según Fisher 0,05. Flechas indican inicio de tratamientos.

En el ciclo 2016, la respuesta fue similar a la del año 2015, aunque con diferencias en los niveles de estrés para ambas variedades y tratamientos. Desde cuajado-envero (27 a 35 EyL) el nivel hídrico en la planta se encontró en valores de -0,4 a -0,6 MPa y desde envero-maduración (34 – 38 EyL), el estado hídrico fue menor al período anterior con rangos de  $\Psi_{fb}$  entre -1,0 a -0,4 Mpa. Se evidencia un fuerte “efecto año” con respecto al 2015, con plantas significativamente más estresadas para el período de maduración (2015: -0,38 Mpa – 2016: -0,63 Mpa – p-valor <0,0001) (figuras 8-9). Se observó para ambas variedades un aumento del estado de hidratación de las plantas a partir del estado 36 EyL para ambos tratamientos.

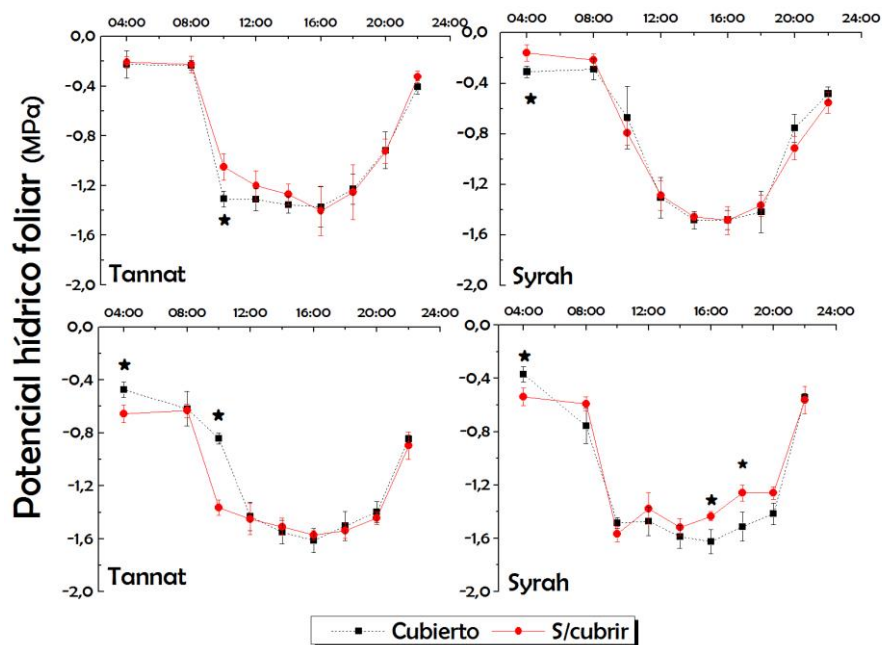


Figura 9: Dinámica del potencial hídrico foliar diario para la temporada 2015. Arriba Envero (Estado 35 EyL- 21/01/2015); abajo maduración (Estado 37 EyL- 11/02/2015). Diferencias significativas según Fisher 0,05.

La dinámica de hidratación diaria ( $\Psi_{fd}$ ) de la vendimia 2015 y 2016, en los estados fenológicos 35 y 37 se presenta en las figuras 9-10. En ambos momentos fenológicos y para los dos años, la evolución del contenido de agua en la hoja presenta una dinámica similar para ambas variedades. A medida que amanece, y la demanda atmosférica aumenta, el  $\Psi_f$  disminuye hasta alcanzar un mínimo (-1,5; -1,6 MPa) al mediodía solar (13:00-14:00 h). Con

ese valor mínimo se mantienen las plantas, hasta finales de la tarde (17:00 – 18:00 h) cuando la planta comienza a hidratarse logrando valores similares al valor  $\Psi_f$  de partida. Con respecto a los tratamientos para ambas variedades, el tratamiento C mostró la misma dinámica de evolución de  $\Psi_f$ , al no detectarse diferencias significativas en la mayoría de las horas en las que se realizó la medida.

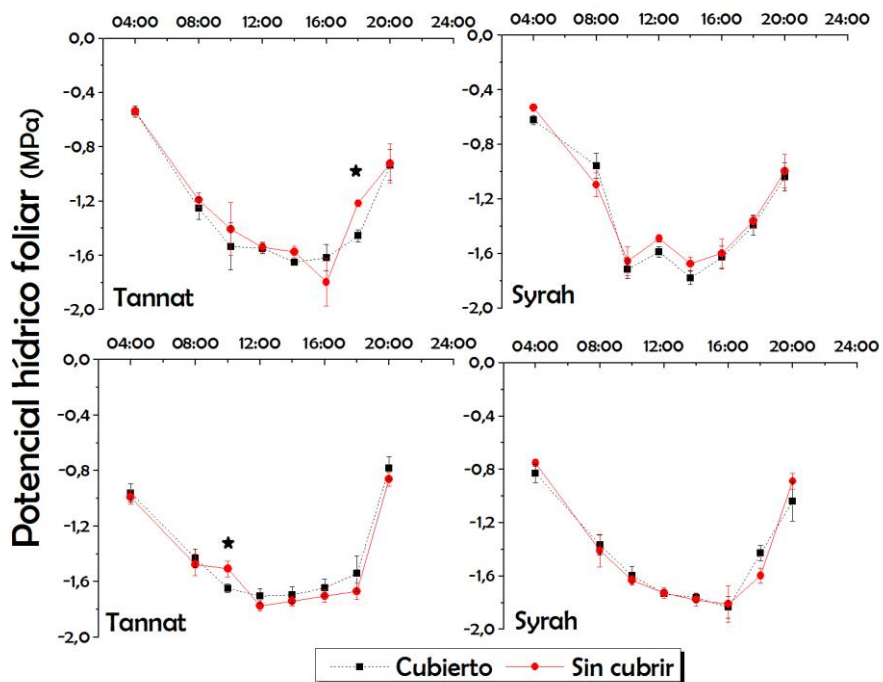


Figura 10: Dinámica del potencial hídrico foliar diario para la temporada 2016. Graficas a la izquierda Tannat; a la derecha Syrah. Arriba durante el invierno (Estado 35 EyL-19/01/2016); abajo en maduración (Estado 37 EyL- 04/02/2016). Diferencias significativas según Fisher 0,05.

### 3.2.2. Conductancia estomática

En la temporada 2015, para ambas variedades y condiciones, se observó una dinámica en la conductancia estomática similar para ambos momentos fenológicos (35 y 37 EyL), con valores que oscilan entre 100 - 200  $\text{mmol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ . Tannat, no presentó diferencias significativas entre tratamientos C y SC. En ambos casos, se registró un aumento desde la primera medida (08:00 h) y a partir de la segunda medida (10:00 h) se mantuvo en valores

estables hasta finales de tarde (16:00 h), descendiendo hacia la noche a medida que el ambiente se hace menos luminoso. Durante el período, la variación de  $g_s$  se ubicó en un rango de 300 y 200  $\text{mmol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ . En Syrah la evolución de la  $g_s$ , presentó una dinámica similar a lo descrita en Tannat, con una menor variabilidad obtenida entre los dos tratamientos para los valores de  $g_s$  (figura 11).

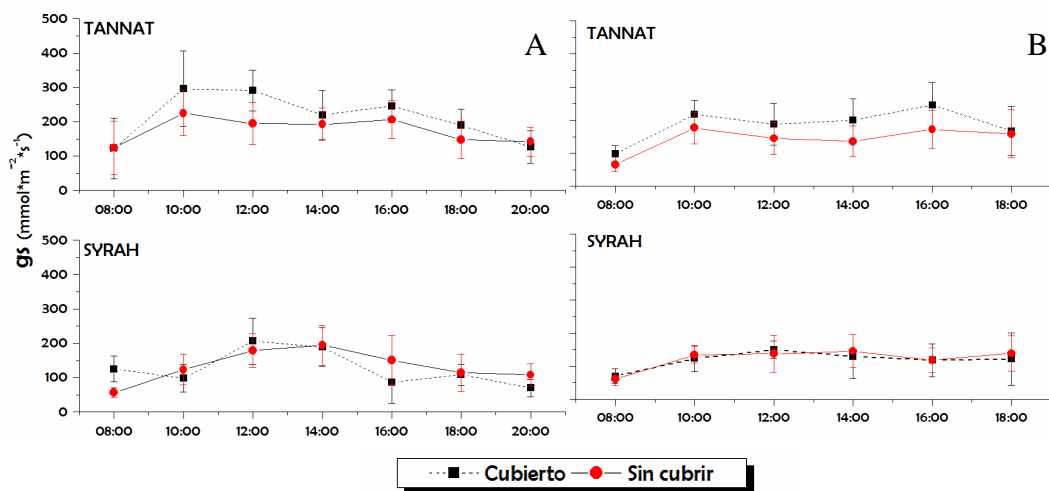


Figura 11: Evolución de la conductancia estomática diaria para la temporada 2015. A: enero (35 EYL-21/01/15). B: maduración (37 EYL-11/02/15). Diferencias significativas según Fisher 0,05.

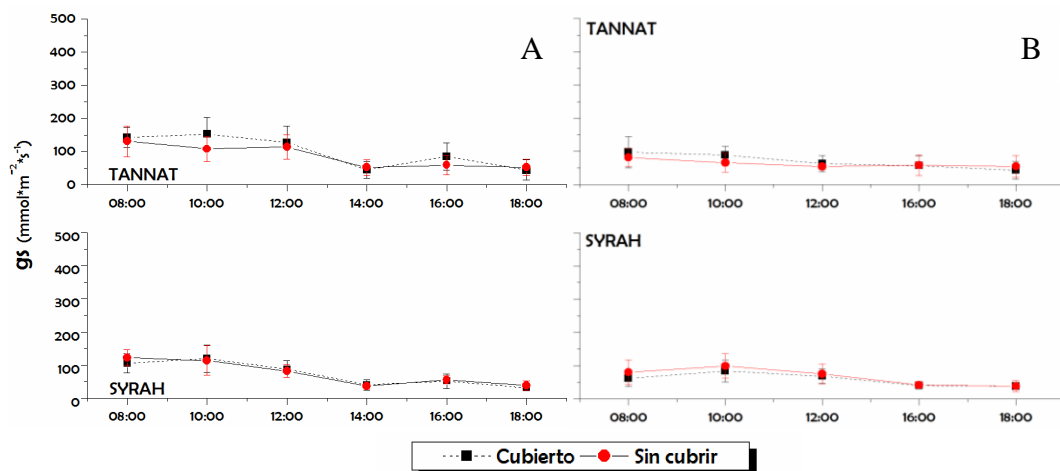


Figura 12: Evolución de la conductancia estomática diaria para la temporada 2016. A: enero (35 EYL-19/01/16). B: maduración (EYL-04/02/16). Diferencias significativas según Fisher 0,05.

En la temporada 2016, se observó un comportamiento similar a lo ya descrito para el 2015, aunque los valores de  $g_s$  máximos alcanzados, fueron menores para ambas variedades y momentos del día, marcando un efecto año. Tannat alcanzó un máximo de  $g_s$  de  $150 \text{ mmol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ , registrado en la primera medida de la mañana, y a medida que avanzó el día la conductancia fue disminuyendo. En cambio, Syrah presentó un valor máximo cercano a  $100 \text{ mmol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ , alcanzado en el mismo momento y con igual dinámica de descenso que Tannat (figura 12).

### **3.2.3. Relaciones hídricas**

En 2015 (figura 13), se observó una disminución del  $\Psi_{fm}$  que acompaña la disminución del  $\Psi_{fb}$ , para las dos variedades y en las dos condiciones.

Syrah SC, presentó una correlación positiva entre ambas variables ( $r: 0,76$ ) y una variación de  $0,75 \text{ Mpa}$  de  $\Psi_{fm}$  cuando la planta pasa de situación sin estrés a un estrés fuerte al final del ciclo. En cambio, Syrah C, presentó una correlación mayor entre variables ( $r: 0,85$ ) y una disminución mayor del  $\Psi_{fm}$  ( $1,0 \text{ Mpa}$ ) con menor disminución del  $\Psi_{fb}$  ( $-0,60 \text{ MPA}$  frente a  $-0,75 \text{ Mpa}$  del SC). Esto representó una dinámica de hidratación diferente que se manifestó en una mayor pendiente de disminución en el tratamiento C ( $b:1,51$ ) frente al SC ( $b:0,77$ ). La condición C presentó una mayor disminución del  $\Psi_{fm}$  pero mantuvo niveles mayores de  $\Psi_{fb}$  que el tratamiento SC.

Tannat en ambos tratamientos los resultados evidenciaron una relación entre variables similares con una mayor correlación en la condición SC que con C ( $r: 0,67$ ;  $r: 0,53$  respectivamente). El rango de variación del  $\Psi_{fm}$  fue similar para ambos tratamientos, con una disminución del  $\Psi_{fm}$  frente a al  $\Psi_{fb}$  también similar (pendientes de la recta; SC –  $b: 0,90$  y C –  $b: 1,06$ ). La condición SC del suelo fue la que permitió alcanzar valores de  $\Psi_{fb}$  más negativos al final del ciclo del cultivo (figura 13).

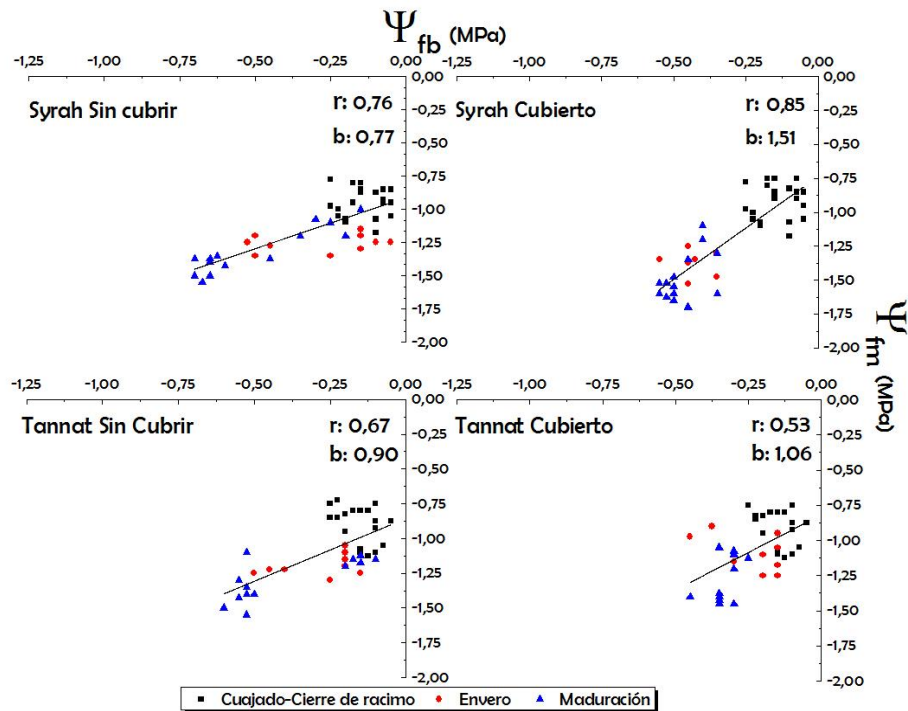


Figura 13: Relación entre el potencial foliar al mediodía y el potencial foliar de base año 2015.

En el 2016, para ambas variedades, la dinámica fue similar a la descrita en la temporada 2015, con una disminución del  $\Psi_{fm}$  a medida que disminuye el  $\Psi_{fb}$ , al avanzar el ciclo del cultivo (figura 14).

En Syrah la variación entre variables presentó altas correlaciones entre la condición de C y la SC (r: 0.85-0.86; respectivamente). Se registró una mayor disminución del  $\Psi_{fm}$  en la condición SC con respecto a la C (b: 1,69; b: 1,12 respectivamente). Al contrario de lo sucedido para el 2015, en este ciclo los valores más negativos de  $\Psi_{fb}$  se alcanzaron en el tratamiento C.

En Tannat la dinámica hídrica entre ambas condiciones fue muy similar (r: 0,80 para ambos tratamientos), con pendientes de disminución del  $\Psi_{fm}$  frente al  $\Psi_{fb}$  similares entre C y SC (b: 0,55 y b: 0,67 respectivamente).

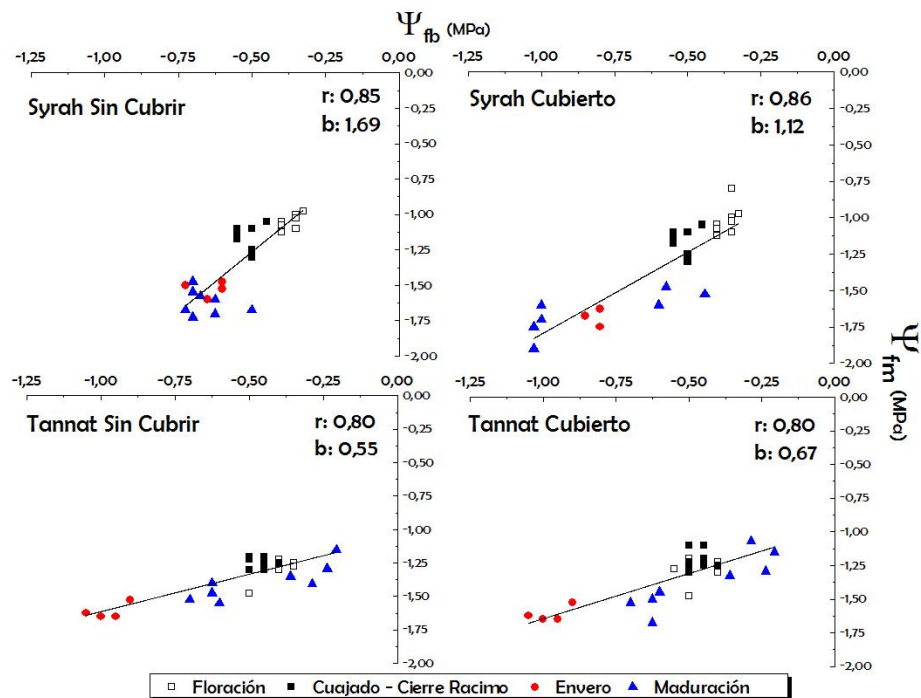


Figura 14: Relación entre el potencial foliar al mediodía y el potencial foliar de base año 2016.

### 3.2.4. Relaciones hídricas y estomáticas

En el 2015, la conductancia estomática disminuye al aumentar el estrés hídrico durante el ciclo, para ambas variedades y tratamientos. (figura 15). En Syrah, el tratamiento SC presentó la mayor correlación entre variables y una mayor disminución de la conductancia estomática que el tratamiento C. Tannat presentó un comportamiento similar, con mayores valores de correlación en la condición SC y un mayor descenso de la conductancia.

En 2016, los resultados muestran un comportamiento diferente al presentado durante el 2015. Las correlaciones entre las variables fueron menores a las obtenidas para el 2015, siendo mayores en los tratamientos C para ambas variedades.

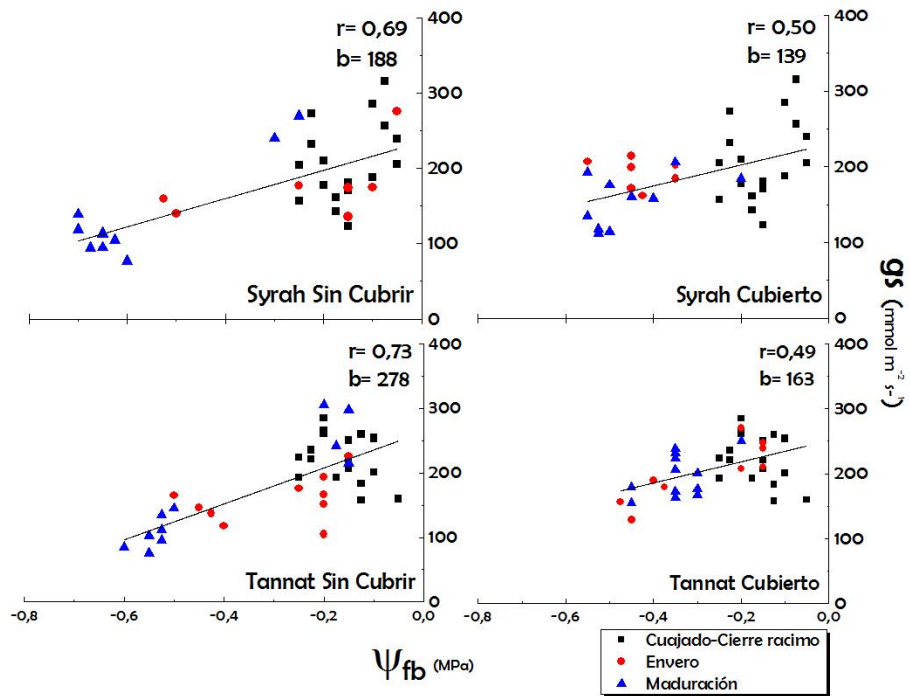


Figura 15: Relación entre la conductancia estomática y el potencial foliar de base para la temporada 2015, según estado fenológico.

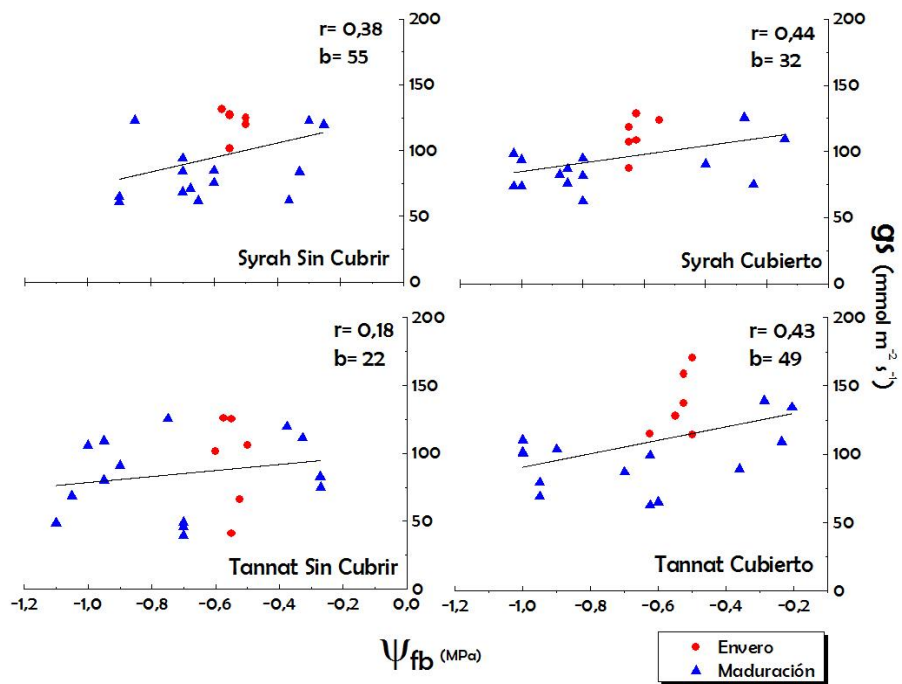


Figura 16: Relación entre la conductancia estomática y el potencial foliar de base para la temporada 2016, según estado fenológico.



### 3.2.5. Discriminación isotópica, eficiencia en el uso del agua y disponibilidad hídrica

$\delta^{13}\text{C}$  fue analizado en hojas y bayas para las temporadas 2015 y 2016 (cuadro 10). Los valores obtenidos varían según el año, órgano analizado y tratamiento para ambas variedades.

Al considerar los valores de  $\delta^{13}\text{C}$  en bayas, los valores obtenidos durante el 2015 fueron más negativos comparados con el 2016. Se detectaron diferencias significativas entre tratamientos para ambos años. Para el 2015 Tannat SC, registró valores más negativos que el tratamiento C, en cambio en el 2016, fue el tratamiento C, que presentó los valores más negativos. Por otro lado, Syrah SC fue el tratamiento que presentó los valores más negativos en ambos años.

Cuadro 10: Discriminación isotópica para las temporadas 2015 y 2016, por órgano, variedad y tratamiento.

Estado Fenológico EyL	Tannat			Syrah		
	Cubierto	Sin Cubrir	p-valor	Cubierto	Sin Cubrir	p-valor
<b>Bayas 2015</b>						
<b>38</b>	<b>-26,7 ± 0,1*</b>	<b>-27,2 ± 0,1*</b>	<b>0,02</b>	<b>-27,0 ± 0,2*</b>	<b>-27,5 ± 0,4*</b>	<b>0,01</b>
<b>Bayas 2016</b>						
<b>38</b>	<b>-24,4 ± 0,2*</b>	<b>-22,8 ± 0,5*</b>	<b>0,009</b>	<b>-22,8 ± 0,2*</b>	<b>-23,6 ± 0,2*</b>	<b>0,009</b>
<b>Hojas 2016</b>						
<b>34</b>	-29,03 ± 0,5	-28,8 ± 0,3	0,5	-28,4 ± 0,2	-28,5 ± 0,5	0,67
<b>36</b>	<b>-27,9 ± 0,1*</b>	<b>-28,8 ± 0,1*</b>	<b>0,001</b>	<b>-28,0 ± 0,1*</b>	<b>-29,7 ± 0,4*</b>	<b>0,03</b>
<b>38</b>	-28,4 ± 0,4	-28,2 ± 0,4	0,61	<b>-28,3 ± 0,2*</b>	<b>-28,7 ± 0,1*</b>	<b>0,03</b>

\* Diferencias significativas según Fisher. Media más desvío estándar.

En 2016, si se comparan los valores de  $\delta^{13}\text{C}$  según el órgano evaluado las hojas presentaron valores más negativos que las bayas en el estado 38 EyL para ambas variedades. Syrah C, registró valores en hoja que fueron similares desde el estado 34 al 38 de EyL, en cambio en la condición SC el valor más negativo se registró en el estado 36 EyL, presentando únicamente diferencias significativas entre tratamientos en el estado 36 y 38 de EyL. En Tannat sucede lo contrario, los valores en el tratamiento SC, fueron más estables durante la maduración, mientras que en el tratamiento C el valor más negativo se registró en

el estado 34 EyL. Únicamente en el estado 36 EyL, se detectaron diferencias significativas entre tratamientos.

Cuadro 11: Consumo de agua, EUA del cultivo, materia seca por planta según variedad y tratamiento.

Variables/ Variedad	Tannat		Syrah	
	Cubierto	Sin cubrir	Cubierto	Sin Cubrir
<b>2015</b>				
Consumo de agua (mm/ciclo)	417		387	
Consumo de agua (l/pl)	1017		967	
Materia seca total (g/pl)	<b>3860*</b>	<b>2312*</b>	<b>2732*</b>	<b>1799*</b>
EUA <sub>C</sub> (g MS/Kg H <sub>2</sub> O)	<b>3,80 ± 0,8*</b>	<b>2,27 ± 0,4*</b>	<b>3,24 ± 0,5 *</b>	<b>1,77 ± 0,9 *</b>
Azúcares (g/planta)	2126	1511	1460	1516
EUA <sub>az</sub> (g Az/Kg H <sub>2</sub> O)	<b>2,09 ± 0,3</b>	<b>1,48 ± 0,2</b>	1,51 ± 0,4	1,57 ± 0,2
<b>2016</b>				
Consumo de agua (mm/ciclo)	485		426	
Consumo de agua (l/pl)	1183		1065	
Materia seca total (g/pl)	<b>2460*</b>	<b>1533*</b>	<b>2607*</b>	<b>2081*</b>
EUA <sub>C</sub> (g MS/Kg H <sub>2</sub> O)	<b>2,1 ± 0,3*</b>	<b>1,3 ± 0,5*</b>	2,4 ± 0,3	2,0 ± 0,7
Azúcares (g/planta)	<b>2086</b>	<b>1348</b>	1383	1368
EUA <sub>az</sub> (g Az/Kg H <sub>2</sub> O)	<b>1,76 ± 0,3*</b>	<b>1,14 ± 0,1*</b>	1,30 ± 0,4	1,28 ± 0,3

\* Diferencias significativas según Fisher 0,05.

La estimación del consumo de agua y EUA se presentan en el cuadro 11. En ambas variedades la EUA<sub>C</sub> fue superior durante el ciclo 2015, con un consumo de agua superior pero el ciclo fue más corto. Al considerar los tratamientos, tanto en Tannat como Syrah, el tratamiento C generó, en ambos años, mayor cantidad de materia seca por planta que el tratamiento SC. Esto resultó para Tannat, en valores significativamente superiores EUA<sub>C</sub> para

ambos ciclos productivos, respuesta que se vio repetida en Syrah, respuesta que fue significativamente diferente únicamente el ciclo 2015.

Con respecto a  $EUA_{az}$ , los valores obtenidos en Tannat son superiores a los registrados en Syrah para ambos ciclos del ensayo. Con referencia a los tratamientos, se observa un “efecto variedad” del tratamiento, en donde Tannat C respondió aumentando significativamente los niveles de azúcares y por tanto la  $EUA_{az}$  con respecto al tratamiento SC, en ambos años. Por el contrario, Syrah muestra valores similares de azúcares por planta y de  $EUA_{az}$  entre tratamientos.

La relación entre  $\delta^{13}C$  y el estrés hídrico durante el ciclo fue significativo, con valores elevados de correlaciones tanto en bayas como en hojas para ambas variedades en conjunto (figura 17). En el caso de las hojas, la correlación obtenida fue superior ( $r: 0,83$ ) frente a las bayas ( $r: 0,70$ ).

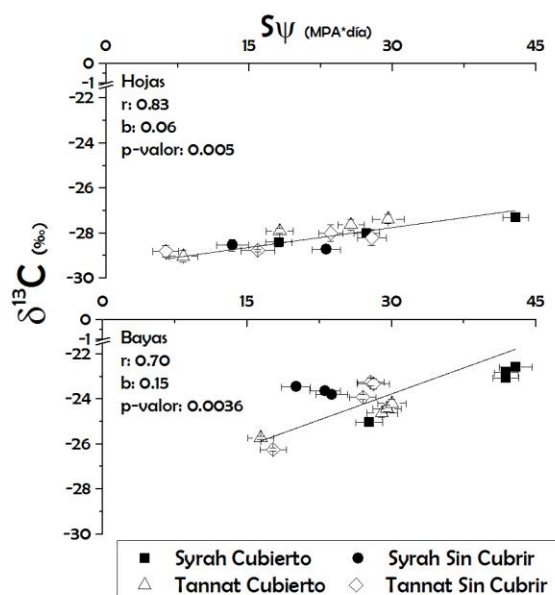


Figura 17: Relación entre la discriminación isotópica y la integral de estrés para la temporada 2016. Arriba: Hojas; Abajo: Bayas

Al analizar por variedad (cuadro 12), las correlaciones entre estas variables son positivas y significativas para ambas variedades y órganos. En Syrah,  $\delta^{13}C_{baya}$ , se

correlacionó positivamente y significativamente, con el estado hídrico, el  $\delta^{13}\text{C}_{\text{hoja}}$  y la  $\text{EUA}_{\text{az}}$ , el  $\delta^{13}\text{C}_{\text{hoja}}$  también se correlacionó positivamente con el estado hídrico y la  $\text{EUA}_{\text{az}}$ . La  $\text{EUA}_{\text{c}}$  presentó valores de correlación elevada y negativas con el  $\delta^{13}\text{C}$  para los dos órganos evaluados, aunque no fue significativo. En Tannat, los valores muestran que el  $\delta^{13}\text{C}_{\text{baya}}$  y  $\delta^{13}\text{C}_{\text{hoja}}$ , se correlacionaron positivamente y significativamente con el estado hídrico y con la  $\text{EUA}_{\text{az}}$ . Por otra parte, la  $\text{EUA}_{\text{c}}$  no se correlacionó con  $\delta^{13}\text{C}$ , pero si con el estado hídrico ( $r:0,53 - p:0,02$ ).

Cuadro 12: Matriz de Correlaciones/probabilidades entre  $\delta^{13}\text{C}$  y  $S_{\psi}$  según variedad para el ciclo 2016.

Variables	$\delta^{13}\text{C}_{\text{baya}}$	$\delta^{13}\text{C}_{\text{hoja}}$	$S_{\psi}$ (MPA.day)	$\text{EUA}_{\text{c}}$ (g MS/Kg H <sub>2</sub> O)	$\text{EUA}_{\text{az}}$ (g Az/Kg H <sub>2</sub> O)
<b>Syrah</b>					
$\delta^{13}\text{C}_{\text{baya}}$	1	<b>0,06</b>	<b>0,01</b>	0,16	<b>0,09</b>
$\delta^{13}\text{C}_{\text{hoja}}$	<b>0,79</b>	1	<b>0,01</b>	0,12	<b>0,03</b>
$S_{\psi}$ (MPA.day)	<b>0,9</b>	<b>0,72</b>	1	0,33	<b>0,01</b>
$\text{EUA}_{\text{c}}$ (g MS/Kg H <sub>2</sub> O)	-0,65	-0,7	-0,49	1	0,51
$\text{EUA}_{\text{az}}$ (g Az/Kg H <sub>2</sub> O)	<b>0,74</b>	<b>0,86</b>	<b>0,73</b>	-0,34	1
<b>Tannat</b>					
$\delta^{13}\text{C}_{\text{baya}}$	1	0,16	<b>0,01</b>	0,63	<b>0,02</b>
$\delta^{13}\text{C}_{\text{hoja}}$	-0,59	1	<b>0,04</b>	0,97	<b>0,01</b>
$S_{\psi}$ (MPA.day)	<b>0,81</b>	<b>0,86</b>	1	<b>0,02</b>	<b>0,04</b>
$\text{EUA}_{\text{c}}$ (g MS/Kg H <sub>2</sub> O)	-0,22	-0,02	<b>0,53</b>	1	0,47
$\text{EUA}_{\text{az}}$ (g Az/Kg H <sub>2</sub> O)	<b>0,83</b>	<b>0,8</b>	<b>0,59</b>	0,33	1

### 3.3. RESPUESTA DE LA PLANTA

#### 3.3.1. Crecimiento vegetativo

Al analizar el crecimiento del pámpano (cuadro 13), se observa que las plantas que se encontraban SC, detuvieron su crecimiento en el estado fenológico 34-35 correspondiente al envero, en cambio bajo C, el crecimiento continuó durante el período de maduración para

las dos variedades hasta llegar al máximo en 38 EYL. En el 2015, Syrah bajo cobertura fue el que presentó mayor crecimiento.

Cuadro 13: Crecimiento de pámpano principal, según estado fenológico, variedad y tratamiento.

Estado Fenológico EYL	Tannat			Syrah		
	Cubierto (m)	Sin Cubrir (m)	p-valor	Cubierto (m)	Sin Cubrir (m)	p-valor
<b>2015</b>						
<b>25</b>	0,64 ± 0,18	0,74 ± 0,14	>0,9999	0,92 ± 0,35	0,89 ± 0,33	>0,9999
<b>35</b>	0,85 ± 0,25	0,88 ± 0,21	>0,9999	1,27 ± 0,26	1,17 ± 0,46	>0,9999
<b>36</b>	<b>0,96 ± 0,20 *</b>	<b>0,72 ± 0,11 *</b>	<b>0,0038</b>	<b>1,56 ± 0,21 *</b>	<b>1,00 ± 0,39 *</b>	0,03
<b>38</b>	<b>1,08 ± 0,22 *</b>	<b>0,73 ± 0,18 *</b>	<b>0,0014</b>	<b>1,58 ± 0,28 *</b>	<b>0,99 ± 0,38 *</b>	0,0116
<b>2016</b>						
<b>25</b>	0,62 ± 0,15	0,58 ± 0,17	>0,9999	0,62 ± 0,21	0,57 ± 0,18	>0,9999
<b>35</b>	0,75 ± 0,19	0,71 ± 0,14	>0,9999	-	-	-
<b>36</b>	0,85 ± 0,10	0,76 ± 0,15	0,146	<b>0,94 ± 0,14*</b>	<b>0,73 ± 0,13 *</b>	0,0031
<b>38</b>	<b>1,04 ± 0,11*</b>	<b>0,71 ± 0,19 *</b>	<b>0,0002</b>	<b>1,13 ± 0,20*</b>	<b>0,77 ± 0,08 *</b>	0,0003

\* Diferencias significativas según Fisher. Media más desvío estándar.

Cuadro 14: Crecimiento de feminelas, según estado fenológico, variedad y tratamiento

Estado Fenológico EYL	Tannat			Syrah		
	Cubierto (m)	Sin Cubrir (m)	p-valor	Cubierto (m)	Sin Cubrir (m)	p-valor
<b>2015</b>						
<b>25</b>	0,33 ± 0,18	0,40 ± 0,18	>0,9999	0,21 ± 0,17	0,19 ± 0,17	>0,9999
<b>34</b>	0,36 ± 0,15	0,36 ± 0,15	>0,9999	0,35 ± 0,15	0,29 ± 0,15	>0,9999
<b>36</b>	0,43 ± 0,14	0,34 ± 0,17	0,1064	0,45 ± 0,32	0,28 ± 0,15	0,273
<b>38</b>	<b>0,99 ± 0,26 *</b>	<b>0,58 ± 0,17 *</b>	<b>0,0006</b>	<b>0,67 ± 0,5 *</b>	<b>0,29 ± 0,14 *</b>	<b>0,0094</b>
<b>2016</b>						
<b>25</b>	0,29 ± 0,2	0,33 ± 0,2	>0,9999	0,32 ± 0,12	0,28 ± 0,12	>0,9999
<b>35</b>	0,31 ± 0,25	0,39 ± 0,25	>0,9999	-	-	
<b>36</b>	0,51 ± 0,12	0,37 ± 0,24	0,2195	0,33 ± 0,11	0,28 ± 0,02	0,1875
<b>38</b>	<b>0,63 ± 0,15 *</b>	<b>0,41 ± 0,16 *</b>	<b>0,0266</b>	<b>0,63 ± 0,09 *</b>	<b>0,39 ± 0,08 *</b>	<b>0,0001</b>

\* Diferencias significativas según Fisher. Media más desvío estándar.

El crecimiento de las feminelas fue similar al registrado por el crecimiento de pámpanos. El crecimiento fue significativamente mayor en el tratamiento cubierto al final del

ciclo. En el caso de Tannat, en ambos años y tratamientos el crecimiento de feminelas fue menor desde el estado 23 al 34 EyL, luego a partir del estado 34 EyL, se reactivó el crecimiento y fue más fuerte bajo C. En el caso de Syrah esta respuesta se observó en el tratamiento con C hacia el final del ciclo (cuadro 14).

### **3.3.2 Componentes del rendimiento**

El rendimiento por planta (kg/pl), número y peso de racimos (unidades), no mostró diferencias significativas por tratamiento para cada variedad entre años. Con respecto al peso de la baya mostró diferencias significativas para los dos años, siendo superior en C para Tannat. Syrah no mostró diferencias significativas.

En el año 2015, se observaron diferencias significativas en cuanto al peso enfermo y número de racimos enfermos para las dos variedades. En Syrah los resultados muestran una reducción de un 33% de la incidencia de enfermedades, expresado como peso enfermo, en el tratamiento con C. En Tannat la reducción del peso enfermo fue de 45% del peso enfermo, (cuadro 15). El principal agente causal de estas podredumbres fue identificado como *Botrytis cinérea*.

Cuadro 15: Componentes del rendimiento según variedad y tratamiento para los ciclos 2015 y 2016.

Variables/ Tratamientos	Tannat			Syrah		
	Cubierto	Sin Cubrir	p-Valor	Cubierto	Sin Cubrir	p-Valor
<b>2015</b>						
Rendimiento (kg/pl)	4,8 ± 1,8	4,3 ± 1,6	0,8511	3,4 ± 1,8	3,6 ± 1,3	0,7237
N° de racimos sanos	24,4 ± 7,8	20,5 ± 5,3	0,0929	18,2 ± 8,3	20,7 ± 5,5	0,2586
Peso de Racimos sanos(g)	197 ± 34	217 ± 60	0,4845	187 ± 46	177 ± 56	0,5057
Peso de baya (g)	<b>1,9 ± 0,07 *</b>	<b>1,71 ± 0,05 *</b>	<b>&lt;0,0001</b>	1,87 ± 0,2	1,93 ± 0,1	0,2991
N° de racimos enfermos	0,7 ± 0,9	2,9 ± 1,8	0,0745	<b>1,7 ± 1,5 *</b>	<b>6,9 ± 2,1 *</b>	<b>&lt;0,0001</b>
Peso enfermo (g)	<b>155 ± 35 *</b>	<b>335 ± 21 *</b>	<b>0,0480</b>	<b>392 ± 75 *</b>	<b>1182 ± 85 *</b>	<b>&lt;0,0001</b>
<b>2016</b>						
Rendimiento (kg/pl)	5,5 ± 1,2	4,1 ± 1,1	0,2721	4,1 ± 2,1	4,2 ± 1,3	0,5714
N° de racimos sanos	26,8 ± 6,1	21,2 ± 3,6	0,6478	22,6 ± 10,5	21,1 ± 6,4	0,5983
Peso de Racimos sanos(g)	209 ± 27	221 ± 56	0,3519	178 ± 34	200 ± 43	0,0691
Peso de baya (g)	<b>1,7 ± 0,03 *</b>	<b>1,61 ± 0,07 *</b>	<b>0,0010</b>	1,6 ± 0,05	1,7 ± 0,12	0,3195
N° de racimos enfermos	0 ± 0	0 ± 0	-	0 ± 0	0,5 ± 0,2	0,2971
Peso de racimos enfermos (g)	0 ± 0	0 ± 0	-	0	11,5 ± 52,1	0,3233

\* Diferencias significativas según Fisher. Media más desvío estándar.

La evolución del peso de la baya se presenta en la figura 18. Tannat en los dos años evaluados, no registró diferencias entre tratamientos en la evolución del peso de baya. La dinámica fue de un aumento de peso hasta el estado 36, se mantuvo con valores levemente oscilantes hasta el estado 38, a partir del cual aumenta o disminuye según el año y tratamiento. Syrah en cambio, presentó un aumento de peso de la baya hasta el estado 37 para luego descender al momento de cosecha.

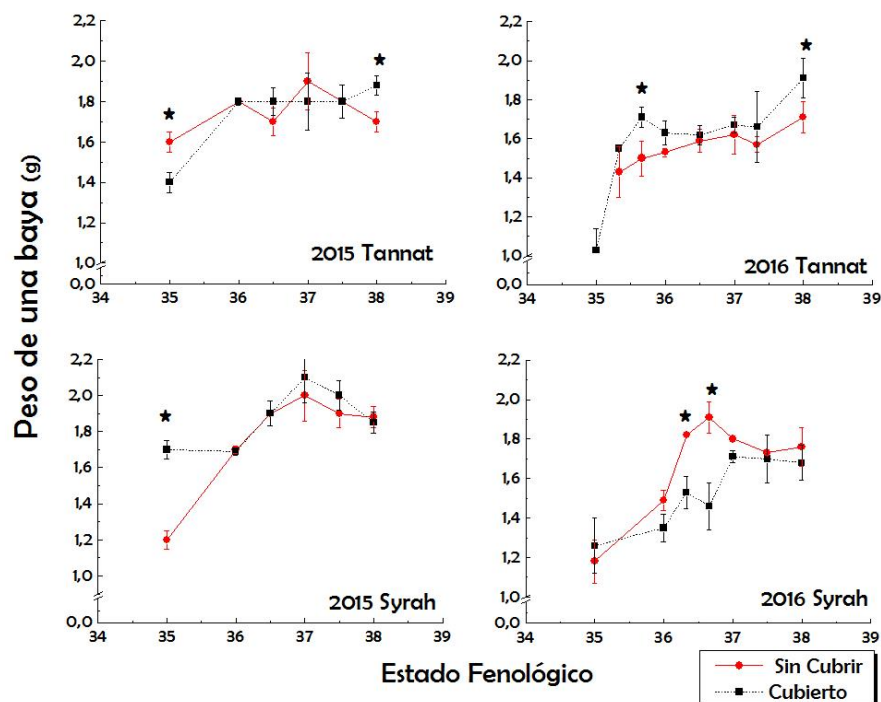


Figura 18: Evolución del peso de una baya (g) para las temporadas 2015 y 2016 para ambos cultivares según tratamiento. \*Diferencias significativas según Fisher 0,05

### 3.3.3. Componentes físicos de la baya

Los componentes se presentan como porcentaje de peso de una baya en el cuadro 16. Independientemente del tratamiento, se puede observar un “efecto variedad” en función de un “efecto año” en los distintos componentes de la baya. En el 2015, no se detectaron diferencias significativas en cuanto a los componentes de la baya entre variedades. En cambio, para el 2016, a similar peso de baya, Tannat registró un mayor % de hollejo ( $p < 0,0001$ ); % de semilla ( $p < 0,0001$ ), relación hollejo/pulpa ( $p < 0,0001$ ) y un menor % de



pulpa ( $p < 0,0001$ ) que Syrah. Con relación al peso de baya, Tannat varío el peso entre años, disminuyendo en el 2016 ( $p: 0,025$ ), pero sin modificar estadísticamente las proporciones en sus componentes con respecto al 2015. Syrah también varío el peso de la baya, durante el 2016 disminuyó su peso ( $p: 0,017$ ), con un aumento en el % de hollejos ( $p: 0,0027$ ) y una disminución del % de pulpa ( $p: 0,0018$ ).

Cuadro 16: Valores medios de los componentes de una baya para las dos variedades y ciclos 2015-2016.

Peso / Tratamiento	Tannat			Syrah		
	Cubierto	Sin Cubrir	p-valor	Cubierto	Sin Cubrir	p-valor
<b>Año</b>	<b>2015</b>					
Baya (g)	<b>1,9 ± 0,07*</b>	<b>1,7 ± 0,05*</b>	<b>&lt;0,0001</b>	1,87 ± 0,2	1,93 ± 0,1	0,2991
Pulpa (%)	<b>77 ± 0,7*</b>	<b>85 ± 0,7*</b>	<b>&lt;0,0001</b>	<b>82 ± 0,6*</b>	<b>89 ± 0,7*</b>	<b>0,0001</b>
Hollejo (%)	<b>17 ± 0,8*</b>	<b>10 ± 0,8*</b>	<b>&lt;0,0001</b>	<b>15 ± 0,3*</b>	<b>8 ± 0,6*</b>	<b>&lt;0,0001</b>
Semilla (%)	<b>6 ± 0,3*</b>	<b>5 ± 0,3*</b>	<b>0,0002</b>	3 ± 0,3	3 ± 0,1	0,1704
Hollejo/pulpa	<b>0,22 ± 0,02</b>	<b>0,11 ± 0,01</b>	<b>&lt;0,0001</b>	<b>0,18 ± 0,01</b>	<b>0,08 ± 0,01</b>	<b>&lt;0,0001</b>
<b>Año</b>	<b>2016</b>					
Baya (g)	<b>1,7 ± 0,03*</b>	<b>1,61 ± 0,07*</b>	<b>0,0010</b>	1,6 ± 0,05	1,7 ± 0,12	0,3195
Pulpa (%)	77 ± 2,5	80 ± 2,2	0,1897	86 ± 1,8	84 ± 1,2	0,1157
Hollejo (%)	18 ± 2,6	15 ± 2,2	0,2913	15 ± 1,8	13 ± 1,1	0,1827
Semilla (%)	5 ± 0,6	5 ± 0,4	0,5322	3 ± 0,3	3 ± 0,5	0,2967
Hollejo/pulpa	0,23 ± 0,05	0,19 ± 0,04	0,1393	0,17 ± 0,03	0,15 ± 0,02	0,1797

\* Diferencias significativas según Fisher. Media más desvío estándar.

Al considerar los tratamientos, el peso de la baya, en Tannat, fue superior en el tratamiento C en los dos años evaluados. Syrah no mostró diferencias significativas entre tratamientos. En 2015, el mayor peso de las bayas en Tannat bajo C, significó un aumento de la proporción de hollejos y de semillas con una reducción de la proporción de pulpa con respecto al tratamiento SC. En 2016, el aumento del peso de baya no modificó estadísticamente la proporción de los distintos componentes de la baya, aunque se observa una tendencia a mayor proporción de hollejo y menos de pulpa. Syrah en cambio, no presentó diferencias significativas en cuanto el peso de baya. Para el 2015, se observa una mayor proporción de pulpa y menor proporción de hollejos en el tratamiento Sc, pero esto no se repite en el ciclo 2016 (Cuadro 5).

### 3.3.4. Partición materia seca por órgano y peso de poda

El reparto de materia seca, para la temporada 2015, no muestra diferencias significativas para Syrah entre tratamientos. Tannat presentó un menor %MS de hoja y un mayor reparto hacia los racimos para el tratamiento C en comparación al SC. La comparación entre variedades muestra en Tannat, un reparto superior hacia el racimo, seguido por la madera y hoja. En cambio, Syrah, la mitad fue dirigida hacia los racimos y el resto fue distribuido equilibradamente hacia las hojas y madera.

En el 2016, no hubo diferencias significativas entre tratamientos para cada órgano evaluado en Syrah. Tannat presentó diferencias significativas en el reparto hacia los racimos. En este año se mantiene el mismo orden de partición entre órganos, pero en Tannat el reparto hacia las bayas fue menor que en el 2015, aumentando la partición hacia la madera (cuadro 17).

Cuadro 17: Reparto de materia seca expresado en % por órgano, según variedad y tratamiento para los ciclos 2015 y 2016.

Órgano	Tannat			Syrah		
	Cubierto	Sin Cubrir	p-Valor	Cubierto	Sin Cubrir	p-Valor
	2015					
<b>Pámpano</b>	15,4 ± 2,2	17,4 ± 2,5	0,15	22,4 ± 8,2	22,5 ± 7,5	0,96
<b>Hoja</b>	<b>7,4 ± 3,5*</b>	<b>14,4 ± 7,8*</b>	<b>0,04</b>	26,4 ± 4,3	23,1 ± 10,6	0,13
<b>Racimo</b>	<b>76,4 ± 4,8*</b>	<b>68,4 ± 5,2*</b>	<b>0,04</b>	51,2 ± 11,2	53,4 ± 16,6	0,36
	2016					
<b>Pámpano</b>	31,4 ± 10,1	36,4 ± 2,1	0,87	26,3 ± 6,3	30,2 ± 4,3	0,82
<b>Hoja</b>	12,4 ± 1,3	13,2 ± 8,0	0,34	14,5 ± 2,1	16,4 ± 8,2	0,70
<b>Racimo</b>	<b>56,2 ± 1,4*</b>	<b>50,4 ± 0,9*</b>	<b>0,03</b>	59,2 ± 2,9	53,4 ± 11,4	0,37

\* Diferencias significativas según Fisher. Media más desvío estándar.

En el cuadro 18, se presentan los resultados de la producción de madera. Se observa para los dos ciclos una mayor producción de madera en Syrah independientemente del tratamiento. Syrah presentó para el ciclo 2015, un mayor peso de madera por planta en el

tratamiento C, esta diferencia no fue significativa para el 2016. En Tannat, la producción de madera fue significativamente superior en el tratamiento C únicamente en el ciclo 2016.

En cuanto al equilibrio fisiológico (IR), se observa para el 2015, valores similares para ambas variedades y sin diferencias entre tratamientos, presentando los valores más bajos en el tratamiento C. En 2016, Tannat presentó valores de IR más elevados que los obtenidos en Syrah. No se registraron diferencias significativas entre los tratamientos.

Cuadro 18: Peso de madera por planta, por sarmiento e índice ravaz según variedad y tratamiento para los ciclos 2015 y 2016

Variables/ Tratamientos	Tannat			Syrah		
	Cubierto	Sin Cubrir	p-valor	Cubierto	Sin Cubrir	p-valor
	2015					
Por planta (kg)	0,4±0,2	0,3±0,1	-	<b>0,9±0,1*</b>	<b>0,6±0,15*</b>	<b>0,039</b>
Por sarmiento (g)	25±12	19±8,6	-	41±18	35±17	-
IR	4,5±2,3	5,9±2,7	-	4,5±1,1	5,5±1,6	-
	2016					
Por planta (kg)	<b>0,6±0,2*</b>	<b>0,3±0,1*</b>	<b>0,0001</b>	0,8±0,3	0,7±0,2	-
Por sarmiento (g)	28±17	23±11	-	42±17	37±9	-
IR	9,0±3,5	10±3,4	-	5,0± 1,1	6,0±2,0	-

\* Diferencias significativas según Fisher. Media más desvío estándar. IR: Índice Ravaz

### 3.3.5. Composición química de la uva

#### 3.3.5.1. Evolución de la acumulación de azúcares y otros metabolitos

La dinámica de acumulación de azúcares, mostró en las dos variedades, años y tratamientos un aumento sostenido de los sólidos solubles desde el envero y hasta la cosecha. En ambas variedades se observó un efecto año, presentando mayor contenido de sólidos solubles en cosecha el año 2015 (Syrah: p-valor= 0.001 y Tannat p-valor= 0,008). Cuando se analiza el efecto del tratamiento, se observa una respuesta diferencial según cultivar que se mantuvo en los dos años. Tannat presentó una mayor acumulación de SST bajo cobertura de suelo a partir del estado fenológico 36, lo que representa 10-15 días

después de colocada la cobertura en el suelo. En cambio, Syrah no evidencio el mismo comportamiento, teniendo ambos tratamientos la misma dinámica de evolución.

En el ciclo 2015, Tannat presentó una dinámica de acumulación constante sin diferencias entre tratamientos al ir avanzando la maduración, registrándose diferencias entre tratamientos en cosecha. El tratamiento SC detuvo la acumulación de azúcares por baya a partir del estado fenológico 37, mientras que el tratamiento bajo cobertura continuó acumulando. En cambio, en 2016, se observaron diferencias significativas en la acumulación de azúcares por baya desde etapas más tempranas de la maduración. La dinámica de acumulación fue muy similar a la registrada en el 2015, en donde el tratamiento SC detuvo la acumulación a partir del estado 37, en cambio bajo C la acumulación continuó (Fig. 19)

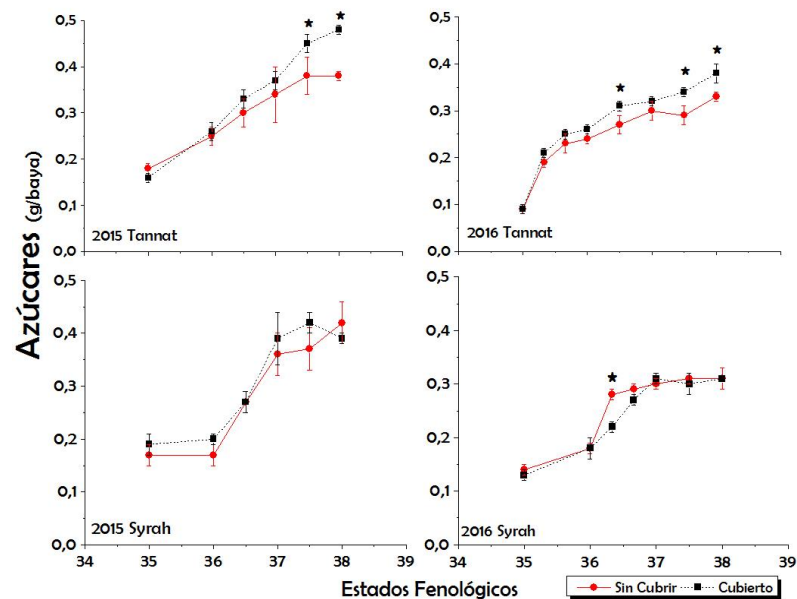


Figura 19: Evolución de los azúcares (g/baya) para las temporadas 2015 y 2016 para ambos cultivares según tratamiento. \* Diferencias significativas según Fisher. Media más desvío estándar.

Syrah en ambos años, no se observaron diferencias significativas en la mayoría de las fechas de muestreos en la acumulación de azúcares. En ambos años y tratamientos se presentó al inicio de la maduración, una acumulación lenta hasta el estado 36 (10 días

aprox.), para registrar luego un aumento rápido (12 días aprox.) y mantenerse sin variaciones hasta la cosecha. La mayor acumulación de azúcares por baya ocurrió entre el estado 36-37.

La evolución del pH, no mostró diferencias significativas entre tratamientos para ambas variedades y los dos ciclos de cultivo (datos no presentados). La evolución de la acidez, disminuyó desde el envero a cosecha con una dinámica de consumo de ácidos similar entre tratamientos (datos no presentados).

### 3.3.5.2. Evolución de la acumulación de antocianos

La evolución del potencial de antocianos totales por baya se presenta en la figura 20. En la temporada 2015, los muestreos se comenzaron en estados más avanzados de la madurez.

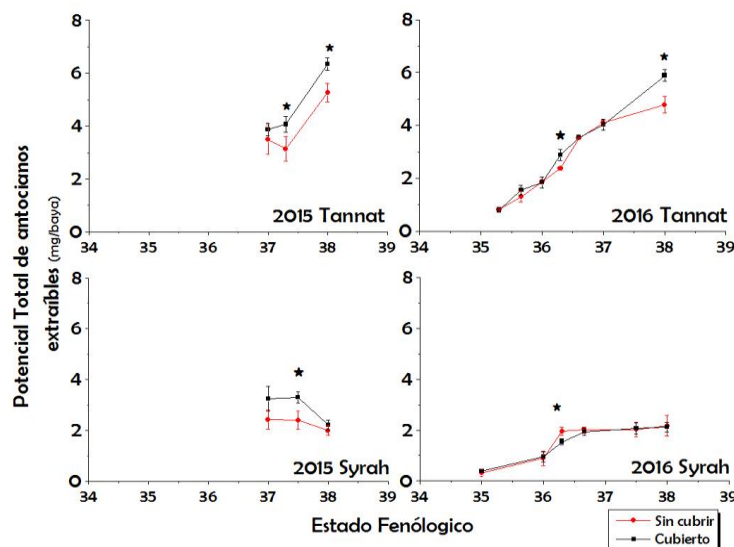


Figura 20: Evolución del potencial de antocianos totales (mg/baya) para las temporadas 2015 y 2016 para ambos cultivares según tratamiento. \* Diferencias significativas según Fisher.

Media más desvío estándar.

Tannat presentó una acumulación similar en los dos tratamientos en los primeros estadios de maduración, diferenciándose estadísticamente a partir del estado fenológico 37,

en los dos ciclos de cultivo. En cosecha, valores significativamente mayores, se registraron en el tratamiento cubierto.

Syrah en cambio, no mostró diferencias significativas en acumulación de antocianos en los dos ciclos de cultivo. En el ciclo 2015, el máximo de antocianos por baya ocurre en el estado 37, para luego descender hasta la cosecha. Durante el 2016 el máximo se alcanza antes del estado 37, y se mantiene en valores constantes durante el resto de la maduración.

### 3.3.5.3. Metabolitos primarios de la uva en cosecha

Cuadro 19: Composición química de la uva en cosecha (38 EyL), según variedad y tratamiento

Variables/ Tratamientos	Tannat			Syrah		
	Cubierto	Sin Cubrir	p-Valor	Cubierto	Sin Cubrir	p-Valor
<b>2015</b>						
<b>Azúcares (g/l)</b>	<b>237 ± 2,28 *</b>	<b>220 ± 1,1 *</b>	<b>&lt;0,0001</b>	211 ± 5,12	217 ± 1,1	0,0749
<b>Azúcares (g/baya)</b>	<b>0,51 ± 0,03 *</b>	<b>0,37 ± 0,03 *</b>	<b>&lt;0,0001</b>	0,39 ± 0,10	0,42 ± 0,08	0,33
<b>pH</b>	3,37 ± 0,03	3,26 ± 0,02	0,087	3,47 ± 0,07	3,44 ± 0,03	0,715
<b>Acidez (gH<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>/l)</b>	3,87 ± 0,17	3,70 ± 0,04	0,105	2,72 ± 0,04	2,74 ± 0,06	0,171
<b>2016</b>						
<b>Azúcares (g/l)</b>	<b>222 ± 8,25 *</b>	<b>205 ± 2,45 *</b>	<b>0,003</b>	187 ± 0,71	188 ± 5,66	0,778
<b>Azúcares (g/baya)</b>	<b>0,42 ± 0,02 *</b>	<b>0,31 ± 0,03 *</b>	<b>0,0001</b>	0,29 ± 0,02	0,32 ± 0,07	0,154
<b>pH</b>	3,25 ± 0,07	3,28 ± 0,02	0,075	3,19 ± 0,1	3,21 ± 0,06	0,082
<b>Acidez (gH<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>/l)</b>	3,92 ± 0,05	3,82 ± 0,25	0,094	3,87 ± 0,2	3,92 ± 0,14	0,097

\* Diferencias significativas según Fisher. Media más desvío estándar.

La acidez titulable no mostró diferencias significativas entre los tratamientos para ambas variedades o ciclos de cultivo (cuadro 19). En Tannat, la acidez en el tratamiento C, fue superior al SC aunque no se detectan diferencias significativas.

Tannat presentó en la acumulación de azúcares, un mayor contenido en el tratamiento C, en los dos ciclos de cultivo. El año 2015 (p-valor: 0,04), presentó valores superiores de acumulación con respecto al 2016. Syrah por el contrario no evidenció mayor acumulación de azúcares entre tratamientos (cuadro 19).

Cuadro 20: Composición de la acidez en de cosecha, según variedad y tratamiento.

Variable	Tannat			Syrah		
	Cubierto	Sin cubrir	p-valor	Cubierto	Sin cubrir	p-valor
2015						
Tar. (mEq/l)	37 ± 1,6*	50 ± 3,0*	0,003	23 ± 0,6*	27 ± 2,3*	0,046
Tar. (μEq/baya)	61 ± 2,3*	70 ± 3,6*	0,021	39 ± 1,0*	46 ± 3,5*	0,037
Mal. (mEq/l)	75 ± 2,2*	85 ± 1,9*	0,004	64 ± 1,5*	80 ± 6,7*	0,017
Mal. (μEq/baya)	106 ± 2,3	104 ± 1,9	0,340	93 ± 1,6*	113 ± 6,9*	0,008
Tar/Mal	0,6 ± 0,01*	0,7 ± 0,03*	0,003	0,4 ± 0,02	0,4 ± 0,01	0,124
2016						
Tar. (mEq/l)	36 ± 7,6	43 ± 1,0	0,135	14 ± 0,6*	17 ± 0,3*	0,004
Tar. (μEq/baya)	49 ± 5,2*	62 ± 1,2*	0,044	22 ± 0,9*	26 ± 0,4*	0,001
Mal. (mEq/l)	33 ± 0,5*	66 ± 8,7*	0,022	42 ± 1,8	42 ± 0,7	0,786
Mal. (μEq/baya)	116 ± 0,2*	80 ± 7,2*	0,014	57 ± 2,0	60 ± 0,9	0,072
Tar/Mal	0,5 ± 0,01*	0,6 ± 0,01*	0,023	0,38 ± 0,02*	0,45 ± 0,02*	0,001

\* Diferencias significativas según Fisher. Media más desvío estándar.

Al desglosar la composición de la acidez según el ácido, se observaron diferencias significativas entre variedades y tratamientos. En ambos ciclos de cultivo, Tannat presentó mayores concentraciones de ácido tartárico y málico que Syrah. En ambas variedades, el ácido málico fue el que presentó mayor variación en su contenido, dependiendo del año. Con respecto a los tratamientos, Tannat en 2015, presentó mayor contenido de ácido tartárico y

málico en el tratamiento SC, como así también una mayor relación tartárico/málico. En cambio, en 2016, el ácido málico fue el que presentó diferencias significativas entre tratamientos, siendo mayor en la condición SC. Syrah, por otro lado, el efecto del tratamiento difiere según el año. En 2015, el ácido málico fue significativamente superior en el tratamiento SC de suelo. En 2016 la cobertura de suelo no afectó la concentración de ácido málico, pero sí el contenido de ácido tartárico que fue significativamente inferior (cuadro 20).

### 3.3.5.4. Metabolismo secundario de la uva en cosecha

En los valores de antocianos y polifenoles en la uva, se observó una diferencia entre tratamientos según el cultivar (cuadro 21). Tannat sin considerar los tratamientos presentó un efecto año. En 2015 se registró una mayor concentración y cantidad potencial de antocianos totales (ApH1, mg\*L<sup>-1</sup>, mg/baya) y un mayor potencial de antocianos extraíbles (ApH 3,2).

Cuadro 21: Contenido de antocianos en cosecha según variedad y tratamiento en los dos ciclos de cultivo

	Tannat			Syrah		
	Cubierto	Sin Cubrir	p-Valor	Cubierto	Sin Cubrir	p-Valor
2015						
ApH 1,0 (mg/l)	2798 ± 115	2374 ± 140	0,0036	1285 ± 128	1198 ± 104	0,612
ApH 1,0 (mg/baya)	6,35 ± 0,2	5,27 ± 0,4	0,0325	2,4 ± 0,14	2,2 ± 0,21	0,652
ApH 3,2 (mg/l)	1369 ± 144	1061 ± 35	0,0061	786 ± 23,2	652 ± 16,3	0,028
ApH 3,2 (mg/baya)	2,61 ± 0,3	1,91 ± 0,2	0,0036	1,46 ± 0,17	1,13 ± 0,10	0,395
2016						
ApH 1,0 (mg/l)	2183 ± 71	1981 ± 53	0,0005	1262 ± 85	1153 ± 90	0,154
ApH 1,0 (mg/baya)	5,92 ± 0,42	4,6 ± 0,2	0,0028	2,1 ± 0,21	2,0 ± 0,11	0,297
ApH 3,2 (mg/l)	891 ± 32	766 ± 21	0,0002	659 ± 37	546 ± 18	0,025
ApH 3,2 (mg/baya)	1,81 ± 0,3	1,21 ± 0,02	0,0348	1,05 ± 0,15	1,12 ± 0,23	0,151

\* Diferencias significativas según Fisher. Media más desvío estándar. ApH1,0: Potencial de antocianos totales. ApH3,2: Potencial de antocianos extraíbles.



Las bayas provenientes de las plantas del tratamiento C, en ambos años, presentaron mayor concentración en antocianos. El mayor efecto ocurrió en 2015, fundamentalmente en la cantidad de antocianos sintetizados (ApH 1,0) que alcanzaron un total de 2800 mg/l (cubierto) frente a 2370 mg/l (sin cubrir). En el caso de los antocianos extraíbles (ApH 3,2), la diferencia fue significativa en más 308 mg/l, a favor de la C. Lo mismo sucedió en el 2016, aunque las diferencias en términos de valores absolutos, fueron menores que lo mostrado en 2015.

En Syrah, al considerar los tratamientos por año, se observa que, en 2015, la síntesis de antocianos totales (ApH 1,0) no fue estadísticamente diferente ( $p$ -valor= 0,7583), en tanto que los antocianos a ApH 3,2 fueron significativamente superiores bajo cobertura. En 2016 la respuesta de las plantas al tratamiento fue similar que en el 2015 con respecto a ApH 1,0 y ApH 3,2, pero con los menores valores. No se establecieron diferencias significativas en la cantidad de antocianos por baya totales o extraíbles.

El análisis cromatográfico de los antocianos en los hollejos, permitió la identificación con seguridad de 15 picos, en función de su orden de aparición y espectros de absorción. Se identificaron los cinco monómeros libres y sus derivados acetilados y cumarilados (cuadro 22 y 23). Tannat muestra un mayor predominio de malvidina, seguido por petunidina, delphinidina, peonidina y cianidina, para los dos ciclos de cultivo y ambos tratamientos. Se observa un claro efecto año en la síntesis de antocianos, para todos los compuestos la concentración fue superior en el 2015 frente al 2016. En 2015, los resultados mostraron una mayor cantidad de antocianinas para todas las familias en el tratamiento C que SC. En cambio, 2016 únicamente la malvidina presentó diferencias significativas entre tratamientos, siendo superior en el tratamiento C. En cuanto al estado, predominaron en los dos años, las formas libres, seguidas de las acetiladas y cumariladas, para ambos tratamientos (mayor cantidad en la modalidad de cobertura de suelo).

Cuadro 22: Composición de antocianinas individuales de hollejos de Tannat según tratamiento y año

Compuesto antocianico	Cubierto	Sin Cubrir	p-valor	Cubierto	Sin Cubrir	p-valor
(mg/kg de hollejo)	2015			2016		
<b>Delfinidina</b>	<b>780 ± 114*</b>	<b>490 ± 18*</b>	0,012	243 ± 4	239 ± 26	0,790
<b>Cianidina</b>	<b>214 ± 26*</b>	<b>127 ± 2*</b>	0,004	82 ± 22	71 ± 1	0,458
<b>Petunidina</b>	<b>969 ± 132*</b>	<b>717 ± 45*</b>	0,035	336 ± 2	330 ± 12	0,441
<b>Peonidina</b>	<b>404 ± 38*</b>	<b>273 ± 3*</b>	0,004	152 ± 11	187 ± 39	0,209
<b>Malvidina</b>	<b>3688 ± 57*</b>	<b>3163 ± 125*</b>	0,010	<b>1165 ± 55*</b>	<b>990 ± 28*</b>	<b>0,041</b>
<b>Libres</b>	<b>4997 ± 191*</b>	<b>3777 ± 327*</b>	<b>0,005</b>	<b>1505 ± 96*</b>	<b>1356 ± 93*</b>	<b>0,038</b>
<b>Acetiladas</b>	653 ± 124	596 ± 80	0,544	298 ± 18	282 ± 30	0,463
<b>Cumariladas</b>	406 ± 52	397 ± 74	0,885	174 ± 20	180 ± 12	0,733

\* Diferencias significativas según Fisher. Media más desvío estándar.

Cuadro 23: Composición de antocianinas individuales de hollejos de Syrah según tratamiento y año

Compuesto antocianico	Cubierto	Sin Cubrir	p-valor	Cubierto	Sin Cubrir	p-valor
(mg/kg de hollejo)	2015			2016		
<b>Delfinidina</b>	307 ± 01	318 ± 33	0,59	157 ± 29	149 ± 15	0,69
<b>Cianidina</b>	79 ± 10	71 ± 12	0,37	66 ± 06	56 ± 17	0,39
<b>Petunidina</b>	396 ± 02	423 ± 56	0,45	224 ± 22	222 ± 15	0,91
<b>Peonidina</b>	617 ± 07	735 ± 75	0,05	235 ± 27	236 ± 12	0,95
<b>Malvidina</b>	<b>2674 ± 101*</b>	<b>3271 ± 277*</b>	<b>0,04</b>	<b>1091 ± 25*</b>	<b>1386 ± 47*</b>	<b>0,001</b>
<b>Libres</b>	<b>2743 ± 45*</b>	<b>3181 ± 321*</b>	<b>0,02</b>	<b>1051 ± 29*</b>	<b>1216 ± 48*</b>	<b>0,007</b>
<b>Acetiladas</b>	<b>642 ± 40*</b>	<b>807 ± 92*</b>	<b>0,03</b>	339 ± 63	410 ± 46	0,422
<b>Cumariladas</b>	<b>689 ± 41*</b>	<b>828 ± 79*</b>	<b>0,04</b>	<b>379 ± 27*</b>	<b>423 ± 11*</b>	<b>0,014</b>

\* Diferencias significativas según Fisher. Media más desvío estándar.

Syrah presentó un mayor contenido de malvidina, seguido por peonidina, petunidina, delfinidina y cianidina, para los dos ciclos de cultivo y ambos tratamientos. Tanto para la temporada 2015 como 2016, los resultados mostraron una variación significativa en el contenido de malvidina entre tratamientos, siendo superior en la condición SC. Los demás grupos de antocianinas no presentaron diferencias significativas para los tratamientos. En cuanto al estado predominante de los antocianos, la mayoría se encuentra en forma libre,

seguida por los derivados cumarilados y acetilados. En el ciclo 2015, el tratamiento C disminuyó significativamente los contenidos para los tres niveles (libres, acetiladas y cumariladas), mientras que, durante el 2016 la tendencia fue igual, solo presentando diferencias estadísticas las formas libres y cumariladas.

#### **4. DISCUSIÓN**

##### **4.1. COMPORTAMIENTO VARIETAL EN FUNCIÓN DE LA DISPONIBILIDAD HÍDRICA**

Los dos años de estudio se encuentran dentro de la clasificación climática ajustada para nuestras condiciones por Ferrer (2007) para la región del ensayo, correspondiendo a un clima templado con noches templadas y sequía moderada. Los dos años estudiados se diferencian principalmente en la oferta hídrica, la que fue superior en la temporada 2015. Los registros de este año fueron superiores a los históricos, fundamentalmente en los meses previos a la maduración, lo que explicó la diferencia de hidratación para cada variedad en los dos ciclos de cultivo.

En la medida que las dos variedades de este ensayo, presentan ciclos fenológicos distintos, estos ocurrieron en condiciones climáticas e hídricas diferentes. Durante el 2015 los valores de  $\Psi_{fb}$  durante el estado 27- 33 EyL se encontraron en rangos de estrés ausente a leve y durante la maduración fue de leve a moderado para Tannat. En Syrah, al momento de cosecha, las plantas presentan un estrés moderado a severo, según los rangos reportados por la bibliografía (Ojeda *et al* 2008; Deloire *et al* 2006; Carbonneau, 1998). En cambio, para el ciclo 2016, las plantas se encontraron con valores de  $\Psi_{fb}$ , dentro de la categoría de estrés más severo. Este rango, paso de déficit severo durante la maduración para culminar el ciclo con un estrés moderado en el estado 38 EyL, como respuesta a las lluvias ocurridas.

Esta disminución del  $\Psi_{fb}$  a lo largo del ciclo, está asociado con un descenso del  $\Psi_s$  en respuesta a la ETP (Jones, 1998). Las oscilaciones en  $\Psi_{fb}$  registradas en este ensayo en los tratamientos SC responden a las precipitaciones y por ende un aumento disminución de la reserva hídrica del suelo. En ambas variedades, a partir del estado 36, con la ausencia de

lluvias, el  $\Psi_{fb}$  disminuyó rápidamente, pasando de estrés leve a moderado, lo que parece indicar que no hubieron limitantes en la pérdida de agua por parte de las plantas (Gerzon *et al.*, 2015; Prieto *et al.*, 2010).

En este estudio, la dinámica de deshidratación e hidratación para ambas variedades presentó un comportamiento similar, para los dos estados evaluados (35-37 EyL) en los dos ciclos de cultivo. El  $\Psi_f$  disminuye a medida que avanza el día hasta un mínimo, para luego recuperarse hasta valores próximos al punto de partida, lo que se corresponde con lo citado en la bibliografía (Hugalde y Vila, 2014; Deloire *et al.*, 2006). En este caso, de vides no irrigadas, y sin considerar el régimen hídrico a las que están sometidas las plantas, la dinámica del  $\Psi_f$  dependerá fundamentalmente de la interacción entre el VPD y la humedad del suelo, que, según varios autores, pueden llegar a explicar hasta un 70% de la variación en el  $\Psi_{fm}$  (Rogiers *et al.*, 2011; Zufferey *et al.*, 2011; Williams y Baeza, 2007; Tardieu y Simonneau, 1998).

Los niveles de  $g_s$  se mantuvieron constantes a lo largo del día para las dos variedades, por tanto, los estomas estaban relativamente abiertos permitiendo la deshidratación y el descenso del  $\Psi_f$ . Esto ha sido reportado tanto para Syrah como en otros cultivares, en donde el cierre estomático registrado resultó en un control limitado de la deshidratación, marcando un comportamiento del tipo anisohídrico (Prieto *et al.*, 2010; Schultz, 2003), Tannat evidenció el mismo tipo de comportamiento anisohídrico en este ensayo.

En 2016 con niveles de estrés hídrico más severos, las plantas registraron  $\Psi_f$  mínimo y  $g_s$  mucho menores que para el ciclo 2015. Esto puede estar explicado por la interacción con una menor luminosidad registrada durante el 2016, que determinó este efecto en la  $g_s$  total de la planta, pero manteniendo las dinámicas hídricas registradas en 2015 (Jones, 1998). Esta situación parece indicar, que la regulación estomática de estos cultivares no fue extremadamente sensible al VPD o a la humedad del suelo coincidiendo con lo reportado por Rogiers *et al.* (2011). Independientemente de las interacciones mencionadas anteriormente, la determinación de un comportamiento iso o anisohídrico para una variedad, es el resultado

de interacciones complejas entre la variedad, portainjerto, VPD e intensidad y duración de los eventos de déficit hídrico (Pou *et al.*, 2012). Los resultados en este sentido, para Tannat difieren con lo encontrado para la misma variedad en otra región, en donde con la disminución del  $\Psi_f$  durante el día, se redujo la  $g_s$ , indicando una mayor sensibilidad de las hojas al VPD para ciertos estomas (Attia, 2007) lo que no fue evidenciado en este ensayo.

Las altas correlaciones obtenidas entre  $\Psi_{fm}$  y  $\Psi_{fb}$  para ambas variedades, se ajustan a lo encontrado por otros autores (Williams y Araujo, 2002) y en particular con lo reportado para Tannat por Attia (2007). La comparación entre los intercambios gaseosos y las relaciones hídricas ( $\Psi_{fm}$  y  $\Psi_{fb}$ ) permite caracterizar la sensibilidad estomática al estrés hídrico y comparar variedades (Prieto *et al.*, 2010; Attia, 2007). En nuestro estudio, ambas variedades presentaron un comportamiento similar, en donde el  $\Psi_{fm}$  disminuye con la disminución del  $\Psi_{fb}$ , esta reducción significativa en el  $\Psi_{fm}$  en respuesta a la sequía indica un comportamiento más próximo al anisohídrico (Beis y Patakas, 2010). Esta situación fue similar para los dos ciclos de cultivo. Pero cuando se analizan los resultados de 2016, con mayor estrés hídrico, Tannat mostró una disminución  $\Psi_{fm}$  que fue menor al que presentó Syrah, lo que le permitió alcanzar el estado 38 EYL con niveles de estrés menores, marcando un comportamiento, diferente entre variedades, con un mayor control estomático por parte de Tannat. Es reportado que plantas que muestran comportamiento anisohídrico, pueden en determinadas condiciones, mostrar una  $g_s$  restringida (Beis y Patakas, 2010). Las variedades de tipo isohídricas presentan una mayor sensibilidad de los estomas frente al VPD comparadas con las variedades anisohídricas lo que les permite conservar más el agua y presentar  $g_s$  menores (Soar *et al.*, 2006).

Como es reportado por la bibliografía, la utilización del  $\delta^{13}C$ , resultó en este estudio, en un parámetro fácil, rápido y robusto para realizar una estimación de la EUA, y el estado hídrico para la vid (Santesteban *et al.*, 2015; Santesteban *et al.*, 2012; Medrano *et al.*, 2010; Chaves *et al.*, 2007). Es un indicador que relaciona la tasa de fotosíntesis y la apertura estomática mediante el diferencial de  $^{13}C$  en la materia para determinado período de crecimiento (Farquhar y Richards, 1984). En términos generales se ha señalado que valores menos negativos de  $\delta^{13}C$  se corresponden con una mayor EUA (Bchir *et al.*, 2016;

Santesteban *et al.*, 2015). Los valores de  $\delta^{13}\text{C}$  obtenidos en este ensayo coinciden con lo reportado por otros autores, tanto para hoja como para bayas (Santesteban *et al.*, 2014; Tomás *et al.*, 2012; Santesteban *et al.*, 2010; van Leeuwen *et al.*, 2009). Los valores  $\delta^{13}\text{C}$  en la baya determinaron rangos de estrés moderado para el 2015 y severo para el 2016 de acuerdo a los rangos indicados por Santesteban *et al.*, (2014) y van Lewellen *et al.*, (2009) y que a su vez coinciden con las categorías de estrés hídrico en función del  $\Psi_{fb}$  (Ojeda *et al* 2008; Deloire *et al* 2006; Carbonneau, 1998). Esta coincidencia en rangos de estrés, afirma la pertinencia de  $\delta^{13}\text{C}$  como indicador del nivel de hidratación de la planta.

En 2016, los valores fueron menos negativos de  $\delta^{13}\text{C}$  indicando plantas con mayor déficit hídrico lo cual fue corroborado con las altas correlaciones entre este parámetro con la  $S\psi$ . En este mismo ciclo de cultivo, los valores menos negativos de  $\delta^{13}\text{C}_{\text{hojas}}$  con respecto a  $\delta^{13}\text{C}_{\text{bayas}}$ , es coincidente con lo reportado por otros autores (Escalona *et al.*, 2014; Chaves *et al.*, 2007; De Souza *et al.*, 2005). Los valores de  $\delta^{13}\text{C}$  en hoja responden a las condiciones hídricas previas a la formación y a diferencias en el reparto de metabolitos en los órganos (Brugnoli y Farquhar, 2000; De Souza *et al.*, 2005). A partir del estado 34 EyL, los frutos se convierten en fosa dominante, fundamentalmente de azúcares (Dai *et al.*, 2011; Deloire, 2010), lo que explicaría que los azúcares ricos en  $^{13}\text{C}$  generados en la fotosíntesis sean redirigidos a la baya en vez de la hoja durante todo el período de maduración.

Las diferencias en el consumo de agua entre años y variedades se pueden explicar en parte a diferencias en el largo del ciclo entre las variedades. En 2016, el ciclo fue 10 días más largo para Syrah y 16 días en el caso de Tannat con respecto al 2015. Lo mismo sucede, para un mismo año entre variedades, Tannat tiene un ciclo más largo que fue de 8 días superior en 2015 y de 13 días en 2016.

La EUAc estimada a nivel de cultivo, en este ensayo, no presentó correlación con el  $\delta^{13}\text{C}$  para hojas y/o bayas, de las variedades analizadas, en concordancia con otros autores (Tomás *et al.*, 2012), por otra parte, en otras condiciones experimentales si se evidenciaron fuertes correlaciones entre estos parámetros (Bchir *et al.*, 2016). La falta de correlación entre estos parámetros ha sido comprobada y desarrolladas por varios autores (Tomás *et al.*, 2012;

Flexas *et al.*, 2010; Schultz y Stoll, 2010; Medrano *et al.*, 2010), que citan las dificultades para estimar a nivel de campo la cantidad de agua consumida (pérdidas de agua por filtración, escorrentía, profundidad radicular, transpiración nocturna, etc) y la determinación de biomasa (pérdida de carbono por respiración y estimación de la biomasa radicular) lo que hacen muy variable la estimación de la  $EUA_C$ . De todas formas, teniendo en cuenta esas consideraciones, la  $EUA_C$  es un buen indicador de la EUA a nivel de planta ya que considera todo el ciclo productivo (Tomás *et al.*, 2012). En nuestro estudio, independientemente del tratamiento y a igualdad de condiciones meteorológicas e hídricas, Tannat presentó mayor  $EUA_C$  que Syrah en 2015, pero no el 2016, en donde fue muy similar para ambas variedades. Estos resultados estarían indicando que las características genéticas frente a las condiciones climáticas del año, estarían influyendo en como las variedades aprovechan el agua así también explicaría la diferencia obtenida entre años mencionada anteriormente (Tomás *et al.*, 2012; Gibberd *et al.*, 2001). A su vez, la  $EUA_C$  está estrechamente relacionada con los procesos fisiológicos que ocurren a escala foliar, tanto fotosíntesis, respiración como transpiración (Flexas *et al.*, 2010), por lo que las diferencias en el comportamiento estomático en Tannat podrían explicar el descenso en la  $EUA_C$  durante el 2016. La EUA evaluada a nivel de azúcares fue similar para ambas variedades y mostró correlaciones elevadas, positivas y significativas con la  $\delta^{13}C$  tanto en hojas como en bayas. Esta buena correlación encontrada tanto con  $\delta^{13}C$  como con el estado hídrico, corrobora la pertinencia de estos parámetros en evaluar la EUA a nivel de campo.

#### **4.2. EFECTO DE LA RESTRICCIÓN HÍDRICA EN LA HIDRATACIÓN DE LA PLANTA**

El  $\Psi_{fb}$  es utilizado como un indicador de la humedad del suelo (Williams y Araujo, 2002; Winkel y Rambal, 1993). El efecto de la cobertura del suelo con nylon en Tannat, no permitió generar diferencias en el estado hídrico de las plantas en ambos años. Esto puede estar explicado, ya que, en el 2015, el nylon fue colocado posterior a una lluvia de 19 mm, lo que permitió partir de un suelo más húmedo. Por otra parte, los materiales sintéticos comprimen los flujos de energía que llegan al suelo y en relación al suelo desnudo, se reduce la cantidad de agua que se pierde en forma de vapor de las capas superficiales del suelo (Zribi *et al.*, 2011; Skene y Kerridge, 1967). A su vez, la cobertura ocasiona una barrera física

para el crecimiento de la pastura en la entrefila, lo que elimina la competencia de las hierbas por el agua, quedando más agua disponible para las plantas y evita la evapotranspiración de la pastura. Por otra parte, la planta equilibra su estado hídrico con la porción de suelo más húmeda cercana a la raíz (Ameglio *et al.*, 1999; Tardieu y Katerji, 1991). La mayor temperatura del suelo bajo cobertura, que se registró en este ensayo, coincide con lo reportado por otros autores (Bowen *et al.*, 2004; Lament, 1993; Tarara, 2000) y permitió un ambiente más propicio para el desarrollo y exploración radicular, con un mayor acceso al agua.

Cuando se analiza el efecto del tratamiento en la disponibilidad hídrica mediante el análisis del  $\delta^{13}\text{C}$ , se detectaron diferencias entre tratamientos para los dos años. En particular el  $\delta^{13}\text{C}_{\text{bayas}}$  mostró una mejor correspondencia con los valores de  $\Psi_{\text{fb}}$ , evidenciando la mejor correspondencia con las variaciones del agua en el suelo (Chaves *et al.*, 2007).

Tannat en ambos ciclos de cultivo, en el tratamiento C, mostró un aumento significativo en la EUA tanto a nivel de cultivo como de azúcares, medido en una mayor producción de biomasa y de azúcares. En este ensayo no se evidenciaron modificaciones importantes en cuanto a la dinámica de hidratación e intercambio gaseoso entre tratamientos para cada cultivar. Para una situación experimental igual a la planteada en este ensayo, las plantas bajo cobertura plástica del suelo aumentaron un 30% la fotosíntesis, fundamentalmente las hojas que se encontraban sombreadas, aumento explicado por un aumento de la radiación reflejada (Pereyra *et al.*, 2017). Esta mayor luminosidad, que incide positivamente en la fotosíntesis, llevó a una mayor EUA a nivel de hoja y de la planta en el tratamiento C, según la influencia de este parámetro comunicada por varios autores (Medrano *et al.*, 2010; Escalona *et al.*, 2003). Las variaciones en la intensidad de luz y la temperatura de la hoja inciden en los procesos de fotosíntesis, transpiración y conductancia estomática, modificando la EUA a nivel de hoja y por tanto de planta entera (Medrano *et al.*, 2010; Weyand y Schultz, 2006). En Syrah, no se logró evidenciar un efecto del tratamiento en el balance de acumulación de azúcares, pero sí en el crecimiento de biomasa marcando mayor EUAc solo para el ciclo 2015 y una clara priorización de la distribución de los asimilados hacia los órganos vegetativos.



### 4.3. CRECIMIENTO VEGETATIVO

La alta variabilidad del régimen pluviométrico del Uruguay (Tiscornia *et al.*, 2016), determinó para los dos años un primer período sin deficiencias hídricas lo que permitió un crecimiento vegetativo no limitado y un segundo período con niveles de estrés hídricos que limitaron el crecimiento vegetativo (Deloire, *et al.*, 2006; Carbonneau, 1998). Esta situación explica la detención del crecimiento que ocurrió en los tratamientos SC al momento de enero (34-35 EYL), coincidiendo con lo reportado por varios autores como momento de detención según el estado hídrico de la planta (Keller, 2015; Deloire *et al.*, 2006; Schultz y Matthews, 1993). En los tratamientos C, el crecimiento de pámpanos y feminelas no se vio detenido, siendo el crecimiento de los brotes un indicador de las condiciones de humedad del suelo (Vaadia y Kasimatis, 1961).

El estado de hidratación de las plantas en la condición con C, para las dos variedades, se observa una menor variación en el  $\Psi_b$  en relación al suelo descubierto. Este resultado resulta coincidente con lo reportado por varios autores que señalan, que los materiales sintéticos (plásticos), son más impermeables al vapor de agua que el orgánico, conservando mejor la humedad (Zribi *et al.*, 2011; Lei *et al.*, 2004; Tarara, 2000; Zelleke y Kiliewer 1997). Esta mayor humedad volumétrica del suelo en las parcelas con C puede estar explicado por varios motivos. En el caso de Tannat en el 2015, el nylon fue colocado posterior a una lluvia de 19 mm, lo que permitió partir de un suelo más húmedo y debido a que los materiales sintéticos reducen los flujos de energía que llegan al suelo, en relación al suelo desnudo, hay una menor cantidad de agua que se pierde en forma de vapor de las capas superficiales del suelo (Zribi *et al.*, 2011; Skene y Kerridge 1967). A su vez, la cobertura ocasiona una barrera física para el crecimiento de la pastura en la entrefila, lo que elimina la competencia de las hierbas por el agua, quedando más agua disponible para las plantas y se evita la evapotranspiración de la pastura.

Por otro lado, la mayor temperatura del suelo bajo C que se registró en este ensayo permitió un ambiente más propicio para el desarrollo radicular y el crecimiento de las plantas, coincidiendo con lo reportado por varios autores (Clarke *et al.*, 2015; Bowen *et al.*, 2004;

Tarara, 2000; Lament, 1993). Richards (1983), plantea que el crecimiento radicular de la vid generalmente tiene lugar cuando las temperaturas del suelo alcanzan los 6° C, teniendo un óptimo a los 30° C, en estas condiciones se mejoran los procesos de absorción e incorporación de nitrógeno y cambios en la partición de las reservas (almidón y nitrógeno) que estimulan el crecimiento de raíces y brotes en suelos más cálidos (Clarke *et al.*, 2015). Este aumento de temperatura sumado a la mayor humedad del suelo, en los tratamientos con cobertura, pudo haber generado un aumento en el nitrógeno disponible el suelo, determinando por el aumento en la tasa de mineralización debida a la mayor actividad de los microorganismos, y una mayor eficiencia en la absorción de nitrógeno y demás nutrientes por parte de las raíces (Clarke *et al.*, 2015; Rodrigo *et al.*, 1997), lo que contribuyó a estimular el crecimiento vegetativo en las parcelas con C.

Se observó una diferencia varietal en respuesta a las condiciones hídricas del año. En Tannat el crecimiento del pámpano fue similar para los dos años, a pesar que, en el 2016 durante la maduración, el estado hídrico de la planta se encontraba en rangos que son citados como limitantes para el crecimiento vegetativo (Deloire, *et al.*, 2006; Carbonneau, 1998). Syrah, por el contrario, para el mismo nivel hídrico, redujo el crecimiento vegetativo en el 2016, en referencia al 2015, año con suelo de mayor contenido hídrico. La reducción del crecimiento vegetativo ocurrida en Syrah para el 2016 independientemente del tratamiento, puede ser causado por una mayor transpiración nocturna de Syrah frente a Tannat. Se ha comprobado que la transpiración nocturna puede llegar a ser importante en climas cálidos o húmedos (Dawson *et al.*, 2007) y de varía según el déficit de presión de vapor (VDP), viento, humedad y temperatura del suelo y genotipo (Rogiers y Clarke, 2013; Rogiers *et al.*, 2009). Tannat parece haber tenido un mayor control estomático nocturno en respuesta a las noches más cálidas, lo que le permitió tener menor transpiración y una mejor rehidratación pre-amanecer que Syrah, manteniendo el mismo nivel de crecimiento con respecto a un año de estrés moderado (2015).

#### 4.4. RENDIMIENTO Y ESTADO SANITARIO

La modificación del microclima y el estado hídrico de la planta, debido a la aplicación de la cobertura, sucedió después de que se dieran los procesos fisiológicos que definen los componentes del rendimiento, por lo que en concordancia con los resultados obtenidos por varios autores (Keller, 2015; Ojeda *et al.*, 2001) era esperable que la producción de uva; número de racimos (número de yemas comparables), peso de racimos no registraran diferencias significativas entre los tratamientos cubiertos y sin cubrir.

El peso de la baya fue el componente del rendimiento que mostró diferencias en el comportamiento según la variedad en función del tratamiento. En enero, las bayas alcanzan entre el 80-90% del peso de cosecha (Ferrer *et al.*, 2014; Ollat *et al.*, 2002), por lo que la cobertura pudo haber tenido efecto en el último tramo de la acumulación de masa de la baya. Syrah en los dos años de estudio no se detectaron diferencias significativas entre tratamientos, siendo coincidente con lo reportado por Hostetler *et al.*, (2007) y Ezzahouani (2003). A su vez la evolución del peso de la baya mostró deshidratación para los dos años de estudio a partir del estado 37, lo que ha sido reportado como una característica varietal por varios autores (Rogiers *et al.*, 2000; McCarthy, 1999; Ojeda *et al.*, 1999). En cambio, Tannat si evidenció un mayor peso de la baya al momento de cosecha bajo cobertura, lo que muestra una tendencia a un mayor rendimiento, en acuerdo a lo reportado por otros autores (van Leeuwen *et al.*, 1998). Esta diferencia varietal al tratamiento, puede estar asociado a diferencias en la transpiración de las bayas. Las bayas presentan una transpiración mucho menor que las hojas que está determinada por las características cuticulares (Zhang y Keller 2015; Rogiers *et al.*, 2004). La poca densidad de estomas en la baya, hace que la regulación estomática sea limitada (Possingham *et al.*, 1967) y las tasas de transpiración sean dependientes del VDP en función del área superficial de la baya y las características cuticulares (Zhang y Keller, 2015). En este estudio, para igual condiciones ambientales (VDP), los factores internos (conductancia cuticular y superficie de baya) parecen explicar el diferente comportamiento frente a la cobertura. Relacionado a esto, las bayas de Syrah alcanzaron en estados temprano de la madurez un peso (y tamaño) mayor que las bayas de Tannat, por lo que la superficie de transpiración es mayor. Además, ha sido reportado para

Syrah una reducción en las últimas etapas del desarrollo de la baya de la actividad en el floema, contribuyendo a la pérdida de peso (Rogiers *et al.*, 2000; McCarthy y Coombe 1999; Ollat y Gaudillère, 1996).

Las condiciones climáticas del 2015, resultaron más favorables para la incidencia de enfermedades fundamentalmente de *Botrytis cinerea* que las ocurridas en el 2016. La aplicación de una cobertura en el suelo, significó una modificación en la humedad relativa en la zona de racimos, que es identificado como uno de los factores meteorológicos que impactan más en las podredumbres de racimo, al estar relacionado con un mayor período de hoja mojada (Ferrer *et al.*, 2009; Dalla Marta *et al.*, 2005; Smart y Robinson, 1991). La menor % de HR en las condiciones de cobertura, podría estar explicando la menor incidencia de botrytis, al estar afectando el período de órganos con agua libre y humedades relativas superiores al 90% y temperaturas de 20 a 24°C que son favorables para la penetración del hongo a la baya (Broome *et al.*, 1995). El aumento de la luminosidad registrado en los tratamientos con cobertura, también podría estar explicando la menor incidencia de Botrytis. Las distintas cepas de *B. cinerea*, presentan diferente sensibilidad a la luz, la cual en exceso representa un factor de estrés para el hongo, afectando la tasa de crecimiento (Canessa *et al.*, 2013). Además de la sensibilidad del hongo a la luz, la intensidad y la duración de la iluminación determinan un aumento de la temperatura en las estructuras del hongo que llevan a una desecación y un estrés osmótico a nivel celular (Schumacher, 2017) limitando las tasas de infección.

#### **4.5. PESO Y COMPONENTES FÍSICOS DE LA BAYA**

Estas modificaciones en la temperatura, luminosidad y humedad del suelo, indicadas anteriormente, generan cambios sobre los cultivos referentes a la resistencia estomática, radiación recibida y flujos de calor que terminan afectando la fisiología del cultivo (Zribi *et al.*, 2011; Graci, 2008; Lament, 1993) y se expresan de manera diferencial según los cultivares. La proporción de los componentes de la baya en Tannat SC, se encuentra en concordancia con lo reportado para esta variedad (Ferrer *et al.*, 2014; González-Neves *et al.*, 2006). El peso de las semillas fue superior en Tannat con respecto a Syrah en este ensayo, manteniendo

este componente de Tannat superior en comparación con otras variedades tales como Cabernet Sauvignon o Merlot (Ferrer *et al.*, 2014). El peso de semillas parece estar relacionado con el contenido de agua en el suelo y planta en etapas previas al envero (Ferrer *et al.*, 2014; Attia *et al.*, 2010). En este ensayo, los tratamientos C, fueron aplicados a partir del momento en que el desarrollo de la semilla se encuentra completado casi por completo (Kennedy *et al.*, 2001), lo que comprueba los resultados en Syrah, donde el tratamiento C, registró mayor estrés hídrico sin variación en la proporción del peso de semillas con respecto al tratamiento SC. Por otro lado, Tannat en 2015, a igual estado hídrico entre tratamientos el peso de las semillas fue superior en el tratamiento C, pero esto se debe a una reducción de la pulpa, que modifica la proporción de hollejos y semillas con respecto al tratamiento SC. Varios autores han reportado una disminución del peso de la baya frente al déficit hídrico (Porro *et al.*, 2008; Roby y Matthews, 2004) y las modificaciones en los componentes son variables según las variedades (Roby *et al.*, 2004), lo que pudo ser comprobado en los resultados de este ensayo. Los resultados obtenidos en este ensayo, muestran que en Tannat la variación en el peso de la baya, no modifica la proporción de los componentes pulpa y semilla sino el de hollejos. En cambio, Syrah que también redujo el peso de baya, disminuyó significativa la proporción de pulpa y un aumentó la de hollejos. Esta mayor proporción de hollejos registrada en el 2016, puede estar explicada a un aumento del grosor de las paredes celulares como medida de protección frente al estrés hídrico (Porro *et al.*, 2008). A su vez con referencia al porcentaje de hollejos, el tratamiento C en ambas variedades para el 2015 mostró valores significativamente más elevados que en el tratamiento SC.

#### **4.6. PARTICIÓN DE MATERIA SECA Y PRODUCCIÓN DE MADERA**

La modificación de los contenidos de agua del suelo entre tratamientos, generó cambios en la partición de asimilados hacia los racimos únicamente en Tannat, lo que muestra un efecto varietal. Syrah no modificó su partición de los asimilados según el año ni tratamiento, confirmando la hipótesis de varios autores sobre el efecto genético del reparto de asimilados por causas genéticas (Sadras *et al.*, 2008; Edson *et al.*, 1995). En cambio, Tannat cambio la partición, según la condición del año, año más seco determinó que la madera sea

un sumidero más competitivo generando un reparto más equilibrado (Edson *et al.*, 1995) reduciendo en casi un 20% la acumulación de materia seca del racimo. A su vez, los valores de partición de Tannat son coincidentes con los encontrados en la bibliografía, donde el destino principal de los carbohidratos es el racimo en comparación con otras variedades (Ferrer *et al.*, 2014) y en este estudio con Syrah para el 2015.

El índice de Ravaz, utilizado como indicador del balance entre la producción de fruta y crecimiento varía según la variedad y el ambiente, mostró que en Syrah los valores obtenidos se sitúan dentro de valores de plantas equilibradas (Aliquó *et al.*, 2010). En cambio, Tannat, se encuentran levemente fuera del rango óptimo de entre 6 y 8 determinado por Ferrer *et al.* (1997) para esta variedad.

## **4.7. COMPOSICIÓN QUÍMICA DE LA BAYA**

### **4.7.1. Componentes del metabolismo primario**

De acuerdo al criterio de cosecha aplicado (valor de pH del mosto), no hubo diferencias en la fecha de cosecha en las variedades o en los ciclos de cultivo. En Italia, Novello *et al.*, (2000), trabajando con uva de mesa Matilde, demostraron que la cobertura con polietileno desde antes de la brotación, permitía un adelanto de esta de 12 a 20 días y de 8 a 22 días en la madurez. Otros autores, reportan un adelanto de la maduración para otras situaciones y variedades (Çoban, 2007; Ezzahouani, 2003).

La síntesis de azúcares depende de las condiciones ambientales, de la capacidad varietal y del estado hídrico (Keller, 2015; Ojeda *et al.*, 2008; Deloire *et al.*, 2006; Zufferey *et al.*, 2000). La capacidad varietal en la acumulación de azúcares fue comprobada en este estudio, mostrando en Tannat un mayor potencial de acumulación con respecto a Syrah. Las condiciones meteorológicas, las temperaturas entre 25 y 30°C y la luminosidad de entre 600 a 1200  $\mu\text{mol m}^{-2} \text{sec}^{-1}$ , son citadas como rangos óptimos para la acumulación de azúcares (Keller, 2015; Hunter y Bonnardot, 2011; Bergqvist *et al.*, 2001). Los dos años evaluados en este estudio, difieren en estos parámetros, lo que se manifestó de igual manera en ambas

variedades. Tanto en Tannat como Syrah, las condiciones meteorológicas de 2016 (mayor temperatura, menor luminosidad y mayor restricción hídrica) determinaron una disminución en la acumulación de azúcares con respecto al año 2015. Estas condiciones ambientales son citadas en el bloqueo de la fotosíntesis y por ende en la disminución de la acumulación de azúcares (Keller, 2015; Ojeda *et al.*, 2008; Roby *et al.*, 2004). Por otra parte, las condiciones opuestas en 2015, que fueron favorables a la fotosíntesis, explicarían la mayor acumulación de azúcares que se registró en ese año (Intrigliolo *et al.*, 2012; Conde *et al.*, 2007; Santesteban y Royo, 2006).

La carga de azúcares presentó un comportamiento diferencial entre tratamientos según la variedad. La condición de C de suelo, mejoró las condiciones lumínicas para ambas variedades, pero la capacidad fotosintética de las hojas en respuesta a la luz, es una característica varietal (Keller, 2015). En este sentido, Syrah no mostró diferencias significativas entre tratamientos en la acumulación de azúcares ni en cosecha, a pesar de que en el tratamiento C las condiciones lumínicas y térmicas fueron más favorables que en el SC, coincidente con lo reportado por (Ferrara *et al.*, 2012). En respuesta a las mejores condiciones lumínicas, Tannat presentó una acumulación de azúcares significativamente superior en el tratamiento C, en concordancia con lo citado en la bibliografía (Ezzahouani, 2003; van Leeuwen *et al.*, 1998), lo que hace suponer una mayor sensibilidad a la luz que en Syrah.

Algunos autores reportan una disminución de la acidez bajo cobertura sintética del suelo (Ezzahouani, 2003; van Leeuwen *et al.* 1998), situación que no pudo ser comprobada en este estudio. Sin embargo, la disminución del ácido málico en mEq/l en las condiciones del ensayo de cobertura del suelo en las variedades estudiadas, estaría explicada por la cantidad de horas de altas temperaturas registradas en la zona del racimo. Temperaturas mayores a 30°C produce un aumento de la tasa de combustión y favorecen el catabolismo de este ácido (Tomasi *et al.*, 2003; Bergqvist *et al.*, 2001). Si bien la temperatura del aire próxima a la zona de racimo no registró diferencias significativas entre tratamientos, en contradicción con lo citado por otros autores (Wien *et al.*, 1993), la mayor cantidad de horas con temperaturas

superiores a 35°C del tratamiento C, podría ser un factor explicativo en la disminución del ácido málico en la situación de C.

#### **4.7.2. Componentes del metabolismo secundario**

El contenido de antocianos está determinado por el potencial genético de la variedad, factor que determinó las diferencias obtenidas en las dos variedades estudiadas (González-Neves *et al.*, 2012; Tian *et al.*, 2008; Downey *et al.*, 2006). De las condiciones micro-ambientales implicados en la acumulación de antocianos, se destacan la luminosidad y la temperatura (óptimos entre 25°C a 30°C) como determinantes en el balance final de antocianos (Tarara *et al.*, 2008; Mori *et al.*, 2007; González-Neves, 2005; Spayd *et al.*, 2002; Haselgrove *et al.*, 2000). En este sentido, las condiciones ambientales en el 2016, mayor temperatura extrema y menor luminosidad, serían los factores que determinaron la diferencia de antocianos totales registrada en este ensayo, principalmente en Tannat, en comparación con el 2015. Por otro lado, Syrah no mostró diferencias en la acumulación de antocianos entre años, indicando un potencial genético que no respondió a las diferentes condiciones meteorológicas de los dos años. En cuanto a la dinámica de acumulación de antocianos, Syrah con un período de maduración más corto que Tannat, soportó temperaturas más elevadas al final de la maduración, lo que explicaría la disminución de antocianos/baya, registradas en el 2015, como consecuencia de una mayor degradación. En otro sentido, el factor hídrico, jugó un papel más relevante en el ciclo 2016 en balance final de antocianos y es reportado como otro de los factores que influyen en la síntesis de metabolitos secundarios (Romero *et al.*, 2013; Ojeda *et al.*, 2008; Deloire *et al.*, 2006; Roby *et al.*, 2004). Durante el inicio de la maduración los potenciales registrados fueron de fuertes a severos (> -0,55 Mpa) rangos en donde la biosíntesis de antocianos se ve alterada, principalmente en Syrah (Ojeda *et al.*, 2008; Deloire *et al.*, 2006).

En respuesta a los tratamientos, las condiciones micro-ambientales fuera del rango óptimo, determinarían la caída en antocianos/baya ocurrida en el 2015 en Tannat SC. Si bien los tratamientos presentaron rango térmico similar, la mayor luminosidad registrada en el tratamiento C determinaría el leve aumento registrado en antocianos/baya. Durante este



período se registró una mayor luminosidad por encima del rango de 200  $\mu\text{mol m}^{-2} \text{sec}^{-1}$  señalado como óptimo (Bergqvist *et al.* 2001). Al avanzar la maduración las condiciones de luminosidad fueron menores para ambos tratamientos, pero las temperaturas diurnas y nocturnas fueron más moderadas encontrándose cercanas al rango de 15-25°C, el cual está reportado como favorable para la síntesis y acumulación de antocianos (Hunter y Bonnardot, 2011; Mori *et al.*, 2005). En Syrah, no se observa un efecto del tratamiento en la síntesis de antocianos totales, pero sí una mayor extrahabilidad en el tratamiento C. Esto podría estar explicado por una mayor debilidad de las paredes celulares de los hollejos ocasionada por la mayor exposición de los racimos a la luz según lo reportado por McLeod *et al.*, (2008) y Ortega-Regules *et al.*, (2006).

En acuerdo con varios autores, se pudo comprobar que el factor varietal es determinante en el perfil de antocianos, ya que se diferenciaron los tipos de antocianos presentes en los hollejos de Tannat y Syrah (González-Neves *et al.*, 2007; Mattivi *et al.*, 2006). En la mayoría de las variedades, los compuestos de la familia de la malvidina son normalmente los más abundantes (Liang *et al.*, 2011; Pomar *et al.*, 2005). El perfil de antocianos obtenido en Tannat se encuentra en concordancia con lo reportado por otros autores para esta variedad (González-Neves *et al.*, 2006). Por otro lado, Syrah presentó altos niveles de derivados cumarilados lo cual es reportado por otros autores como característicos de esta variedad (Gutiérrez *et al.*, 2004) y respalda la hipótesis de diferencias varietales en el perfil de antocianos entre estas variedades.

El factor genético de cada variedad, además de condicionar el potencial de cada variedad y el perfil antocianico, determina la sensibilidad de la expresión de las enzimas involucradas en la biosíntesis a los factores ambientales y culturales (González-Nevez *et al.*, 2006; Downey *et al.*, 2006; Souquet *et al.*, 2000; Di Stéfano *et al.*, 1994). Esto estaría explicando la diferencia obtenida entre tratamientos para cada variedad. La modificación en la temperatura y luminosidad generada con la cobertura del suelo, explicaría la mayor biosíntesis de todos los componentes antocianos en Tannat, fundamentalmente malvidina (Mori *et al.*, 2007). En cambio, en Syrah, estas modificaciones en el ambiente lumínico, determinaron fundamentalmente una disminución del contenido de malvidina en el

tratamiento C. Esta diferencia en la composición de antocianos, podría indicar que estas variedades presentan una sensibilidad distinta a los factores ambientales de las enzimas que participan en la biosíntesis de antocianos.

## **5. CONCLUSIONES GENERALES**

La viticultura uruguaya, en los últimos años viene desarrollándose en situaciones geográficas distintas a las tradicionales, presentando condiciones climáticas y edáficas diferentes, en general con suelos más superficiales y de menor capacidad de reserva de agua. En estas situaciones, los estudios referidos al comportamiento varietal en respuesta al estado hídrico, se hacen necesarios, a fin de disponer de herramientas adaptadas para la gestión del viñedo.

La metodología empleada en este trabajo fue pertinente en la medida que permitió un análisis de las relaciones hídricas y estomáticas en condiciones de campo y como responden estas variedades a las condiciones climáticas. En particular, el  $\delta^{13}\text{C}$  resultó ser un indicador performante del estado hídrico del viñedo y de la EUA. En cuanto a la cobertura del suelo con polietileno, esta logró modificar los parámetros micro-meteorológicos. Se registró un mayor contenido de agua, temperatura y luminosidad y menor humedad relativa, lo que determinó una mejora en los procesos fisiológicos. Su utilización como generador de estrés hídrico, no fue el esperado, por lo que en nuestras condiciones debería ser colocado en etapas previas al envero.

Ambas variedades, en la situación cubierta, optimizaron la  $\text{EUA}_c$ , con una estimulación del crecimiento vegetativo durante la maduración, un cambio en la relación hollejo/pulpa y una reducción significativa de la incidencia de enfermedades. En Tannat, las modificaciones en el microclima generaron un aumento en los azúcares y antocianos/baya. A su vez, en ambas variedades, el cambio en las condiciones lumínicas, determinó una modificación en los contenidos de algunas antocianinas.

Por las características de este ensayo, la determinación del comportamiento hídrico entre estas variedades no pudo ser diferenciado. Tannat en condiciones de mayor déficit hídrico realizó un mejor ajuste estomático, lo que parece indicar un comportamiento de tipo intermedio entre isohídrico y anisohídrico. Esto debe ser profundizado en futuros estudios que incorporen situaciones con plantas bien regadas y diferentes niveles de hidratación, situación que en este ensayo no se pudo lograr.

A igualdad de condiciones climáticas y con similar comportamiento estomático, estas variedades presentaron una respuesta diferente frente a situaciones hídricas más restrictivas. En Syrah, la sensibilidad al estado hídrico, generó una disminución del crecimiento vegetativo, de la producción de madera, del peso de baya por la reducción de la proporción de pulpa y mantuvo el reparto de MS entre los distintos órganos. Por otro lado, Tannat mantuvo el crecimiento vegetativo y la producción de madera, disminuyó la partición de MS hacia los racimos y el peso de baya, sin modificar las proporciones de sus componentes. Tannat frente a similar estado hídrico, utilizó más eficientemente el agua que Syrah. En particular, esta mejora en el uso del agua, reportó mayor producción de azúcares.

Ambas variedades respondieron a las temperaturas extremas y menor luminosidad, disminuyendo el contenido de azúcares y antocianos acumulados desde etapas tempranas de la maduración.

Los resultados parecen indicar, que estas variedades frente a igual condiciones hídricas y modificaciones micro-meteorológicas, presentan una respuesta diferencial en cuanto a desarrollo vegetativo y síntesis de metabolismo primario y secundario de la baya. Esto parece apoyar la hipótesis que los procesos metabólicos involucrados en desarrollo vegetativo y en particular en la síntesis de azúcares y antocianos ocurren de forma independiente, aunque esta suposición debe ser comprobada y elaborada en estudios posteriores.

## **6. BIBLIOGRAFÍA**

- Aliquó G, Catania A, Aguado G. 2010. La poda de la vid. Secretaría de Agricultura, Ganadería, Pesca y Alimentación. Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA). Lujan de Cuyo, Mendoza, Argentina. 34p.
- Alonso A, Guillén D, Barroso C, Puertas B, García A. 2002. Determination of antioxidant activity of wine byproducts and its correlation with polyphenolic content. *Journal of agricultural and Agricultural and Food Chemistry*, 50(21): 5832-5836.
- Ameglio T, Archer P, Cohen M, Valancogne C, Daudet F, Cruziat P. 1999. Significance and limits in the use of predawn leaf water potential for tree irrigation. *Plant and Soil* 207(2):155-167.
- Aronson J, Ebeler S. 2004. Effect of polyphenol compounds on the headspace volatility of flavors. *American Journal of Enology and Viticulture*, 55(1): 13-21.
- Assmann S, Shimazaki K. 1999. The multisensory guard cell. Stomatal responses to blue light and abscisic acid. *Plant Physiology*, 119(3): 809-816.
- Attia F, Garcia F, Ben Mariem F, Nuzzo V, Dedieu F, Garcia M, Lamaze T. 2010. Water stress in Tannat and Duras grapevine cultivars (*Vitis vinifera* L.): Leaf photosynthesis and grape phenolic maturity. *Journal International des Sciences de la Vigne et du Vin*, 81-93.
- Attia F. 2007. Effet du stress hydrique sur le comportement écophysologique et la maturité phénolique de la vigne *Vitis vinifera* L.: étude de cinq cépages autochtones de midi-Pyrenees. Tesis Doctoral. Toulouse, Francia. Institut National Polytechnique de Toulouse. 194p.

- Barceló J, Nicolás G, Sabater B, Sánchez, R. 1987. Fisiología vegetal. Madrid. Ediciones Pirámide. 823 p
- Bchir A, Escalona J, Gallé A, Hernández-Montes E, Tortosa I, Braham 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*, 167(1): 11-20.
- Beis A, Patakas A. 2010. Differences in stomatal responses and root to shoot signalling between two grapevine varieties subjected to drought. *Functional Plant Biology*, 37(2): 139-146.
- Bengough G, McKenzie B, Hallett P, Valentine T. 2011. Root elongation, water stress, and mechanical impedance: a review of limiting stresses and beneficial root tip traits. *Journal of Experimental Botany*, 62(1): 59-68.
- Berente B, De la Calle D, Reichenbacher M, Danzer K. 2000. Method development for the determination of anthocyanins in red wines by high-performance liquid chromatography and classification of German red wines by means of multivariate statistical methods. *Journal of Chromatography A*, 871(1): 95-103.
- Bergqvist J, Dokoozlian N, Ebisuda N. 2001. Sunlight exposure and temperature effects on berry growth and composition of Cabernet Sauvignon and Grenache in the Central San Joaquin Valley of California. *American Journal Enology and Viticulture*, 52(1): 1-7.
- Bertelli A, Migliori M, Bertelli A, Origlia N, Filippi C, Panichi V, Falchi M, Giovannini L. 2002. Effect of some white wine phenols in preventing inflammatory cytokine release. *Drugs Experimental and Clinical Research*, 28(1): 11-15.
- Boulton R. 2001. The copigmentation of anthocyanins and its role in the color of red wine: a critical review. *American Journal Enology and Viticulture*. 52(2): 67-87.

- Bowen P, Bogdanoff C, Estergaard B. 2004. Impacts of using polyethylene sleeves and wavelength selective mulch in vineyards. I. Effects on air and soil temperatures and degree day accumulation. *Canadian journal of plant science*, 84(2): 545-553.
- Brodrribb T, Holbrook N. 2003. Stomatal closure during leaf dehydration, correlation with other leaf physiological traits. *Plant Physiology*, 132(4): 2166-2173.
- Broome J, English J, Marois J, Latorre A, Aviles J. 1995. Development of an Infection Model for Botrytis BunchRot of Grapes based on wetness duration and temperature. *Phytopatology*, 85(1): 97-102
- Brugnoli E, Farquhar G. 2000. Photosynthetic fractionation of carbon isotopes. En: Leegood RC, Sharkey TD, von Caemmerer S. (Eds). *Photosynthesis: physiology and metabolism*. Holanda: Springer. 399-434.
- Canessa P, Schumacher J, Hevia MA, Tudzynski P, Larrondo LF (2013) Assessing the Effects of Light on Differentiation and Virulence of the Plant Pathogen Botrytis cinerea: Characterization of the White Collar Complex. *PLOS ONE* 8(12): e84223.
- Carbonneau A. 1998. Aspects qualitatifs. En: Tiercelin J. (Eds.) *Traite d'irrigation*. Paris: Tec & Doc. 257-276.
- Carbonneau A, Deloire A, Jaillard B. 2007. *La vigne: physiologie, terroir, culture*. (Eds). Paris: Dunod. 441.
- Carbonneau A, Moueix A, Leclode N, Renoux J. 1991. Proposition d'une méthode de prélèvement de raisin á partir de l'analyse de l'heterogénéité de maturation sur un cep. *Bulletin OIV*. 64: 679-690.

- Carbonneau A, Casteran P, Leclair P. 1978. Essai de détermination en biologie de la plante entière, de relations essentielles entre le bioclimat naturel, la physiologie de la vigne et la composition du raisin. *Annals Amélioration des Plantes*, 28: 195-221.
- Castellarin S, Di Gaspero G. 2007. Transcriptional control of anthocyanin biosynthetic genes in extreme phenotypes for berry pigmentation of naturally occurring grapevines. *BMC Plant Biology*, 7(1): 46.
- Chaves M, Zarrouk O, Francisco R, Costa J, Santos T, Regalado A. 2010. Grapevine under deficit irrigation: hints from physiological and molecular data. *Annals of Botany*, 105(5): 661-676.
- Chaves M, Santos T, Souza C, Ortuño M, Rodrigues M, Lopes C, Maroco J, Pereira J. 2007. Deficit irrigation in grapevine improves water-use efficiency while controlling vigour and production quality. *Annals of Applied Biology*, 150(2): 237-252.
- Choné X, van Leeuwen C, Dubourdieu D, Gaudillère J. 2001. Stem water potential is a sensitive indicator of grapevine water status. *Annals of Botany*, 87(4): 477-483.
- Chouzouri A, Schultz H. 2005. Hydraulic anatomy, cavitation susceptibility and gas exchange of several grapevine cultivars of different geographic origin, *Acta Horticulturae ISHS*, 689:325-331.
- Clarke S, Lamont K, Pan H, Barry L, Hall A, Rogiers S. 2015. Spring root-zone temperature regulates root growth, nutrient uptake and shoot growth dynamics in grapevines. *Australian journal of grape and wine research*, 21(3): 479-489.
- Çoban H. 2007. Effects of plastic covering on yield, physical and chemical characteristics of some table grapes (*Vitis vinifera* L.). *Asian Journal of Chemistry*, 19(5): 4052-4058.

- Conde C, Silva P, Fontes N, Dias A, Tavares R, Sousa M, Agasse A, Delrot S, Gerós H. 2007. Biochemical changes throughout grape berry development and fruit and wine quality. *Food*, 1: 1-22.
- Coombe B. 1995. Growth stages of the grapevine: adoption of a system for identifying grapevine growth stages. *Australian Journal of Grape and Wine Research*, 1(2): 104-110.
- Coombe B. 1987. Influence of temperature on composition and quality of grapes. *Acta Horticulturae*, 206: 23-47.
- Culasso J, Maresca A. 2015. Análisis comparativo de la respuesta agronómica y composición de la uva de la variedad Tannat en diferentes situaciones de vigor. Tesis Ing. Agr. Montevideo, Uruguay. Universidad de la República. Facultad de Agronomía. 67 p.
- Dai Z, Ollat N, Gomés E, Decroocq S, Tandonnet J, Bordenave L. 2011. Ecophysiological, genetic, and molecular causes of variation in grape berry weight and composition: a review. *American Journal Enology and Viticulture*, 62(4): 413-425.
- Dalla Marta A, Magarey R, Orlandini S. 2005. Modelling leaf wetness duration and downy mildew simulation on grapevine in Italy. *Agricultural and Forest Meteorology*, 132(1-2): 84-95.
- Davies C, Robinson S. 1996. Sugar accumulation in grape berries. *Plant Physiology*, 111(1): 275-283.
- Davies W, Zhang J. 1991. Root signals and the regulation of growth and development of plants in drying soil. *Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology*, 42(1): 55-76.



- Davies W, Wilkinson S, Loveys B. 2002. Stomatal control by chemical signalling and the exploitation of this mechanism to increase water use efficiency in agriculture. *New Phytologist*, 153(3): 449-460.
- Dawson T, Burgess S, Tu K, Oliveira R, Santiago L, Fisher J, Simonin K, Ambrose A. 2007. Nighttime transpiration in woody plants from contrasting ecosystems. *Tree Physiology*, 27(4): 14.
- De Souza C, Maroco J, Dos Santos T, Rodrigues M, Lopes C, Pereira J, Chaves M. 2005. Impact of deficit irrigation on water use efficiency and carbon isotope composition ( $\delta C-13$ ) of field-grown grapevines under Mediterranean climate. *Journal of Experimental Botany*, 56: 2163–2172.
- De Souza C, Maroco J, Dos Santos T, Rodrigues M, Lopes C, Pereira J, Chaves M. 2003. Partial rootzone drying: regulation of stomatal aperture and carbon assimilation in field-grown grapevines. *Functional Plant Biology*, 30(6): 653-662.
- DeBolt S, Hardie J, Tyerman S, Ford C. 2004. Composition and synthesis of raphide crystals and druse crystals in berries of *Vitis vinifera* L. cv. Cabernet Sauvignon: ascorbic acid as precursor for both oxalic and tartaric acids as revealed by radiolabelling studies. *Australian Journal of Grape and Wine Research*, 10(2): 134-142.
- Deloire A. 2010. Grapevine berry morphology and composition: A review. Technical year book [En línea]. 4 de abril 2018. Disponible en: [https://www.researchgate.net/publication/259649317\\_Grapevine\\_berry\\_morphology\\_and\\_composition\\_A\\_review](https://www.researchgate.net/publication/259649317_Grapevine_berry_morphology_and_composition_A_review)
- Deloire A, Carbonneau A, Wang Z, Ojeda H. 2006. Vid y agua. Una breve revisión. *Revista Enología*, (5): 36-42.

- Di Stéfano R, Moriondo G, Borsa D, Gentilini N, Foti S. 1994. Influenza di fattori climatici e colturali sul profilo antociánico varietale. *Enotecnico*, 30: 73-73.
- Downey M, Dokoozlian N, Krstic M. 2006. Cultural practice and environmental impacts on the flavonoid composition of grapes and wine: a review of recent research. *American Journal of Enology and Viticulture*, 57(3): 257-268.
- Downey M, Harvey J, Robinson S. 2003. Synthesis of flavonols and expression of flavonol synthase genes in the developing grape berries of Shiraz and Chardonnay (*Vitis vinifera* L.). *Australian Journal Grape and Wine Research*, 9(2): 110-121.
- Edson C, Howell G, Flore A. 1995. Influence of crop load on photosynthesis and dry matter partitioning of Seyval grapevines. III. Seasonal changes in dry matter partitioning, vine morphology, yield, and fruit composition. *American Journal of Enology and Viticulture*, 46(4): 478-485.
- Eichhorn K, Lorenz H. 1977. Phönologische entwicklungsstadien der rebe. *Nachrichtenbl. Dtsch. Pflanzenschutzd. Braunschweig*, 29: 119-120.
- Eraso Z. 2011. Evaluación de métodos de estimación del estado hídrico de la variedad de vid "Tempranillo" para la toma de decisiones de riego. Tesis. Universidad Pública de Navarra. 63p
- Escalona J, Tomás M, Ribas-Carbó M, Bechir A, Bota J, Santesteban L, Miranda L, Royo J, Castel J, Intrigliolo D, Herralde F, Aranda X, Savé R, Nadal M, Sánchez-Ortiz A, Medrano H. 2014 El ratio isotópica del carbono ( $\delta^{13}C$ ) como indicador válido de la eficiencia en el uso del agua en vid. I Jornadas del Grupo de Viticultura y Enología de la SECH - Retos Actuales de I+D en Viticultura. Logroño, España. 7p

- Escalona J, Flexas J, Bota J, Medrano H. 2003. Distribution of leaf photosynthesis and transpiration within grapevine canopies under different drought conditions. *Vitis*, 42(2): 57–64.
- Escalona J, Flexas J, Medrano H. 1999. Stomatal and non-stomatal limitations of photosynthesis under water stress in field-grown grapevines. *Australian Journal of Plant Physiology*, 26(1): 421-433.
- Ezzahouani A. 2003. Behaviour study of "Danlas" grapevines grown under plastic cover. *Journal International des Sciences de la Vigne et du Vin*, 37:14-21.
- Fanzone M. 2012. Caracterización de la composición fenólica de uvas y vinos de la variedad Malbec (*Vitis vinifera* L.): su relación con el origen geográfico, factores vitivinícolas y valor comercial. Tesis Doctoral. Tarragona. Universitat Rovira i Virgili. 369 p.
- Farquhar G, Ehleringer R, Hubick K. 1989. Carbon isotope discrimination and photosynthesis. *Annual Review of Plant Biology*, 40(1): 503-537.
- Farquhar G, Richards R. 1984. Isotopic composition of plant carbon correlates with water-use efficiency of wheat genotypes. *Functional Plant Biology*, 11(6): 539-552.
- Ferrer M. 2007. Étude du climat des régions viticoles de l'Uruguay, des variations climatiques et de l'interaction apportée par le microclimat et l'écophysiologie des systèmes de conduite Espalier et Lyre sur Merlot. PhD Thesis, École Nationale Supérieure Agronomique Université de Montpellier II, France.
- Ferrer M, Echeverría G, Carbonneau A. 2014. Effect of berry weight and its components on the contents of sugars and anthocyanins of three varieties of *Vitis vinifera* L. under different water supply conditions. *South African Journal of Enology and Viticulture*, 35(1): 103-113.

- Ferrer M; Camussi G, González-Neves G, Echeverría G, Montaña A. 2011. Condiciones predisponentes para las podredumbres de racimo; clima, variedad y técnicas de cultivo. (en línea). *Revista Enología*, 4.
- Ferrer M; Camussi G; González-Neves G; Echeverría G; Montaña A. 2009. Condiciones predisponentes para las podredumbres de racimo, Clima, variedad y técnicas de cultivo. *Enología*, 6(4): 46.
- Ferrer M, Gonzalez-Neves G, Priore E, Montaña A, Carbonneau A. 2008. Los componentes de rendimiento, la expresión vegetativa y los indicadores fisiológicos de vitis vinífera cv. Merlot en función de la arquitectura de la planta. *Revista Agrociencia*, 12(1): 6-19.
- Ferrer M, González-Neves G, Burgueño J, Gabard Z, Camussi G. 1997. Influencia de la intensidad de la poda y el raleo de racimos sobre la relación fuente fosa en *Vitis vinífera* L. Cv. Tannat. n *Actas del XXIII Congreso de la Viña y el Vino*. Buenos Aires., s.e. s.p.
- Flexas J, Galmés J, Gallé A, Gulias J, Pou A, Ribas-Carbo M, Tomàs M, Medrano H. 2010. Improving water use efficiency in grapevines: potential physiological targets for biotechnological improvement. *Australian Journal of Grape and Wine Research*, 16(1); 106–121.
- Flexas J, Escalona J, Medrano H. 1998. Down-regulation of photosynthesis by drought under field conditions in grapevine leaves. *Australian Journal of Plant Physiology*, 25(8): 893-900.
- Franks P, Farquhar G. 2007. The mechanical diversity of stomata and its significance in gas-exchange control. *Plant Physiology*, 143(1): 78-87.
- Geldner N. 2013. The endodermis. *Annual Review of Plant Biology*, 64: 531-558.

- Gerzon E, Biton I, Yaniv Y, Zemach H, Netzer Y, Schwartz A, Fait A, Ben-Ari G. 2015. Grapevine anatomy as a possible determinant of isohydric or anisohydric behavior. *American Journal of Enology and Viticulture*, 66: 340-347
- Gibberd M, Walker R, Blackmore D, Condon A. 2001. Transpiration efficiency and carbon-isotope discrimination of grapevines grown under wellwatered conditions in either glasshouse or vineyard. *Australian Journal of Grape and Wine Research*, 7(3): 110–117.
- Girona J, Marsel 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.
- Glories Y. 1984. La couleur des vins rouges. 1ère partie. Les équilibres des anthocyanes et des tanins. *Connaissance de la Vigne et du Vin*, 18: 195-217.
- González-Neves G. 2005. Etude de la composition polyphénolique des raisins et des vins des cépages Merlot, Cabernet-Sauvignon et Tannat provenant de vignes conduites en Lyre et en Espalier dans le sud de l'Uruguay. Tesis de Doctorado. ENSAM. Montpellier, 279 p
- González-Neves G, Franco J, Barreiro L, Gil G, Moutounet M, Carbonneau A. 2007. Varietal differentiation of Tannat, Cabernet-Sauvignon and Merlot grapes and wines according to their anthocyanic composition. *European Food Research and Technology*, 225(1): 111-117.
- González-Neves G, Gil G, Barreiro L, Ferrer M, Franco J. 2006. Composición fenólica de las uvas de las principales variedades tintas de *Vitis vinifera* cultivadas en Uruguay. *Agrociencia Uruguay*, 10(2): 1-14.

- González-Neves G, Ferrer M. 2005. Evolución de los índices de estimación del potencial polifenólico durante la maduración de uvas tintas en el sur de Uruguay. *Viticultura y Enología Profesional*, (99): 36-43.
- Graci A. 2008. Evaluación de alternativas al uso del polietileno como cubierta del suelo para el manejo de malas hierbas y otros aspectos agronómicos en el cultivo del tomate (*Lycopersicon esculentum* P. Mill.) en España y Venezuela. Tesis Doctoral. Zaragoza, España. Universidad de Zaragoza. 170p.
- Gross, M. 2004. Flavonoids and cardiovascular disease. *Pharmaceutical Biology*, 42(1): 21-35.
- Gutiérrez, I. H., García-Romero, E., & de Calatrava, R. 2004. Antociano de variedades tintas cultivadas en La Mancha; perfiles varietales característicos de la uva y de los vinos monovarietales, y evolución durante la maduración de la baya. *Alimentaria*, 660(1-2):27-140.
- Haselgrove L, Botting D, van Heeswijk, R, Høj P, Dry P, Ford C. 2000. Canopy microclimate and berry composition: the effect of bunch exposure on the phenolic composition of *Vitis vinifera* L. cv. Shiraz grape berries. *Australian Journal of Grape Wine Research*, 6(2): 141-149.
- Hidalgo L. 2009. La podredumbre gris de las uvas. Ministerio de Agricultura (España). Hojas divulgadoras, 1-78. 15 p.
- Hoefs J. 2008. Stable isotope geochemistry. Berlin: Springer-Verlag 3<sup>rd</sup> ed., 208p.
- Hostetler G, Merwin L, Brown M, Padilla-Zakour O. 2007. Influence of undervine floor management on weed competition, vine nutrition, and yields of Pinot noir. *American Journal of Enology and Viticulture*, 58(4):431-442.

- Hsiao T, Xu L. 2000. Sensitivity of growth of roots versus leaves to water stress: biophysical analysis and relation to water transport. *Journal of Experimental Botany*, 51(350): 1595-1616.
- Hufnagel J, Hofmann T. 2008. Quantitative reconstruction of the nonvolatile sensometabolome of a red wine. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 56(19): 9190-9199.
- Hugalde I, Vila H. 2014. Comportamiento isohídrico o anisohídrico en vides: ¿Una controversia sin fin?. *RIA. Revista de investigaciones agropecuarias*, 40(1): 75-82.
- Huglin P. 1978. Nouveau mode d'évaluation des possibilités héliothermiques d'un milieu viticole. *Comptes Rendues de l'Académie d'Agriculture*. 1117-1126.
- Hunter J, Bonnardot V. 2011. Suitability of some climatic parameters for grapevine cultivation in South Africa, with focus on key physiological processes. *South Africa Journal Enology and Viticulture*, 32(1): 137–154.
- Iland P, Dry P, Proffitt T, Tyerman S. 2011. *The Grapevine: From the Science to the Practice of Growing Vines for Wine*. Patrick Iland Wine Promotions, Adelaide, Australia.
- Intrigliolo D, Pérez D, Risco D, Yeves A, Castel J 2012. Yield components and grape composition responses to seasonal water deficits in Tempranillo grapevines. *Irrigation Science*, 30(5): 339–349.
- Jeandet P, Bessis R, Gautheron B. 1991. The production of resveratrol (3,5,40-trihydroxystilbene) by grape berries in different developmental stages. *American Journal of Enology and Viticulture*, 42: 41-46.
- Jones H. 1998. Stomatal control of photosynthesis and transpiration. *Journal of Experimental Botany*, 49: 387-398.

- Keller M. 2015. *The science of grapevines: anatomy and physiology*. Burlington, MA: Elsevier: Academic Press. 488p.
- 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(1): 56-69.
- Keller M. 2005. Deficit irrigation and vine mineral nutrition. *American Journal of Enology and Viticulture*, 56(3): 267-283.
- Keller M, Smithyman RP, Mills LJ. 2008. Interactive effects of deficit irrigation and crop load on Cabernet Sauvignon in an arid climate. *American Journal of Enology and Viticulture*, 59(3): 221-234.
- Kennedy J, Ferrier J, Harbertson J, Peyrot C. 2006. Analysis of tannins in red wine using multiple methods: correlation with perceived astringency. *American Journal of Enology and Viticulture*, 57(4): 481-485.
- Kennedy J, Matthews M, Waterhouse A. 2002. Effect of maturity and vine water status on grape skin and wine flavonoids. *American Journal of Enology and Viticulture*, 53(4): 268-274.
- Kennedy J, Hayasaka Y, Vidal S, Waters E, Jones G. 2001. Composition of grape skin proanthocyanidins at different stages of berry development. *Journal of Agriculture and Food Chemistry*, 49(11): 5348-5355.
- Kennedy J, Troup G, Pilbrow J, Hutton D, Hewitt D, Hunter C, Ristic R, Iland P, Jones G. 2000. Development of seed polyphenols in berries from *Vitis vinifera* L. cv. Shiraz. *Australian Journal of Grape and Wine Research*, 6(3): 244-254.



- Kramer P, Boyer J. 1995. Water Relations of Plants and Soils. San Diego, CA. Academic Press. 480p.
- Lament W. 1993. Plastic mulches for the production of vegetable crops. HortTechnology, 3(1): 35-39.
- Lei Y, Takahashi H, Li W. 2004. Effects of concrete mulch on soil thermal and moisture regimes. Journal of Agriculture Meteorology, 60(1): 17-23.
- Liang Z, Owens C, Zhong G, Cheng L. 2011. Polyphenolic profiles detected in the ripe berries of *Vitis vinifera* germplasm. Food chemistry, 129(3): 940-950.
- Lovisollo C, Perrone I, Carra A, Ferrandino A, Flexas J, Medrano H. 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): 98-116.
- Lovisollo C, Schubert A. 1998. Effects of water stress on vessel size and xylem hydraulic conductivity in *Vitis vinifera* L. Journal of Experimental Botany, 49(321): 693-700.
- Mattivi F, Guzzon R, Vrhovsek U, Stefanini M, Velasco, R. 2006. Metabolite profiling of grape: flavonols and anthocyanins. Journal of agricultural and food chemistry, 54(20): 7692-7702.
- McAinsh M, Pittman J. 2009. Shaping the calcium signature. New Phytologist, 181(2): 275-294.
- McCarthy M. 1999. Weight loss from ripening berries of Shiraz grapevines (*Vitis vinifera* L. cv. Shiraz). Australian Journal of Grape and Wine Research, 5(1):10-16.

- McCarthy M, Coombe B. 1999. Is weight loss in ripening grape berries cv. Shiraz caused by impeded phloem transport? *Australian Journal of Grape and Wine Research*, 5(1):17-21.
- McDowell N. 2011. Mechanisms linking drought, hydraulics, carbon metabolism, and vegetation mortality. *Plant Physiology*, 155(3): 1051-1059.
- McLeod A, Fry S, Loake G, Messenger D, Reay D, Smith K. 2008. Ultraviolet radiation drives methane emissions from terrestrial plant pectins. *New Phytologist*, 180(1): 124-132.
- McRae J, Kennedy J. 2011. Wine and grape tannin interactions with salivary proteins and their impact on astringency: a review of current research. *Molecules*, 16(3): 2348-2364.
- Medrano H, Flexas J. 2003. Respuesta de las plantas al estrés hídrico. En: *La ecofisiología vegetal. Una ciencia de síntesis*. M.J. Reigosa, N. Pedrol, y A. Sánchez (eds.). Thompson Editores, España: 253-285.
- Medrano H, Flexas J, Ribas-Carbó M, Gulías J. 2010. Measuring water use efficiency in grapevines. En: *Delrot, S., Medrano, H., Or, E., Bavaresco, L., Grando, S. (Eds.), Methodologies and Results in Grapevine Research*. Berlin, Springer. 57–70.
- Medrano H, Bota J, Cifre J, Flexas J, Ribas-Carbó M, Gulías J. 2007. Eficiencia en el uso del agua por las plantas. *Investigaciones Geográficas*, 43: 63-84.
- Medrano H, Escalona J, 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.

- Monagas M, Suarez R, Gómez-Cordovés C, Bartolomé B. 2005. Simultaneous determination of nonanthocyanin phenolic compounds in red wines by HPLC-DAD/ESI-MS. *American Journal of Enology and Viticulture*, 56(2): 139-147.
- Monagas M, Bartolomé B. 2009. Anthocyanins and Anthocyanin-Derived Compounds. In M. V. Moreno-Arribas, & M. C. Polo (Eds.), *Wine Chemistry and Biochemistry*. New York, Springer. 439-456.
- 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.
- Mori K, Saito H, Goto-Yamamoto N, Kitayama M, Kobayashi S, Sugaya S. 2005. Effects of abscisic acid treatment and night temperatures on anthocyanin composition in Pinot noir grapes. *Vitis*, 44(4): 161-165.
- Muller B, Pantin F, Génard M, Turc O, Freixes S, Piques M. 2011. Water deficits uncouple growth from photosynthesis, increase C content, and modify the relationships between C and growth in sink organs. *Journal Experimental Botany*, 62(6): 1715-1729.
- Mullins M, Bouquet A, Williams L. 1992. *Biology of the Grapevine*. Cambridge, Reino Unido. Cambridge University Press. 239p.
- Myers B. 1988. Water stress integral-a link between shortterm stress and long-term growth. *Tree Physiology*, 4(4): 315-323.
- Nonami H, Wu Y, Boyer J. 1997. Decreased growth-induced water potential. A primary cause of growth inhibition at low water potentials. *Plant Physiology*, 114(2): 501-509.
- Novello V, De Palma I, Tarricone I, Voxg. 2000. Effects of different plastic sheet coverings on microclimate and berry ripening of table grape cv 'Matilde'. *Journal international des sciences de la vigne et du vin*, 34(2): 49-55.

- Ojeda H, Andary C, Kraeva E, Carbonneau A, Deloire A. 2002. Influence of pre- and postveraison water deficit on synthesis and concentration of skin phenolic compounds during berry growth of *Vitis vinifera* cv. Shiraz. *American Journal of Enology and Viticulture*, 53(4): 261-267.
- Ojeda H. 2007. Los compuestos fenólicos de la uva. *Revista Enología*, 4: 1-11.
- Ojeda H, Deloire A, Wang Z, Carbonneau A. 2008. Determinación y control del estado hídrico de la vid. Efectos morfológicos y fisiológicos de la restricción hídrica en vides. *Viticultura/ Enología Professional*, 90: 27-43.
- Ojeda H, Deloire A, Carbonneau A, Ageorges A, Romieu C. 1999. Berry development of Grapevines: Relations between the growth of berries and their DNA content indicate cell multiplication and enlargement. *Vitis*, 38(4): 145-150.
- Ollat N, Gaudiellère J. 1996. Investigation of assimilate import mechanisms in berries of *Vitis vinifera* var. 'Cabernet Sauvignon'. *Acta Horticulturae*, 427:141-149
- Ollat N, Diakou-Verdin P, Carde J, Barrieu F, Gaudillère J, Moing A. 2002. Grape berry development: a review. *International Journal of Vine and Wine Sciences*, 36(3): 109-131.
- Ortega-Regules A, Romero-Cascales I, López-Roca J, Ros-García J, Gómez-Plaza E, 2006. Anthocyanin fingerprint of grapes: environmental and genetic variations. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 86(10): 1460-1467.
- Pantin F, Monnet F, Jannaud D, Costa J, Renaud J, Muller B. 2013. The dual effect of abscisic acid on stomata. *New Phytologist*, 197(1): 65-72.

- Pellegrino A, Gozá E, Lebon E, Wery J. 2006. A model-based diagnosis tool to evaluate the water stress experienced by grapevine in field sites. *European Journal of Agronomy*, 25(1): 49-59.
- Peña-Neira, A., Dueñas, M., Duarte, A., Hernández, T., Estrella, I., & Loyola, E. 2004. Effects of ripening stages and of plant vegetative vigor on the phenolic composition of grapes (*Vitis vinifera* L.) cv. Cabernet Sauvignon in the Maipo Valley (Chile). *Vitis*, 43: 51-57.
- Pereyra G, Maresca A, Cuozzo V, Ferrer M. 2017. "Efecto de la cobertura del suelo con polietileno, en la maduración de uva de *Vitis vinifera* variedad Tannat". GiESCO, Mendoza, Argentina. 4p
- Piccardo D. 2008. Estudio de la incidencia del microclima y de la gestión del follaje sobre el crecimiento vegetativo, la maduración y la sanidad de *Vitis vinifera*, cv. Tannat. Tesis Ing. Agr. Montevideo, Uruguay. Facultad de Agronomía. 121p
- Pomar F, Novo M, Masa A. 2005. Varietal differences among the anthocyanin profiles of 50 red table grape cultivars studied by high performance liquid chromatography. *Journal of Chromatography a*, 1094(1-2): 34-41.
- Porro D, Ramponi M, Tomasi T, Rolle L, Poni S. 2008. Nutritional implications of water stress in grapevine and modifications of mechanical properties of berries. In VI International Symposium on Mineral Nutrition of Fruit Crops, 868: 73-80.
- Possingham J, Chambers T, Radler F, Grncarevic M. 1967. Cuticular transpiration and wax structure and composition of leaves and fruit of *Vitis vinifera*. *Australian Journal of Biological Sciences*, 20(6):1149-1153.
- Pou A, Medrano H, Tomás M, Martorell Ribas-carbó M, Flexas J. 2012. Anisohydric behaviour in grapevines results in better performance under moderate water stress and recovery than isohydric behaviour. *Plant soil*, 359(1-2):335-349.

- Prescott, J. 1969. The climatology of the Vine (*Vitis vinifera* L.). Transactions of the Royal Society of SouthAustralia, 93: 1-15 pp.
- Prieto J, Lebon E, Ojeda H. 2010. Respuesta estomática de variedades de vid al estado hídrico del suelo y al déficit de presión de vapor de agua. Jornadas de Actualización en Riego y Fertiriego, 11-13.
- Rebucci B, Poni S, Intriери C, Magnanini E, Lakso A. 1997. Effects of manipulated grape berry transpiration and post-veraison sugar accumulation. Australian Journal of Grape and Wine Research, 3(2), 57-65.
- Ribéreau-Gayon P. 1976. Traité d'oenologie, sciences et techniques du vin, París. Dunod, 671 p.
- Ribéreau-Gayon P, Glories Y, Maujean A, Dubourdieu D. 2006. Phenolic compounds. En: Ribéreau-Gayon P, Glories Y, Maujean A, Dubourdieu D. (Eds) Handbook of Enology, The Chemistry of Wine Stabilization and Treatments. Chichester, Reino Unido. John Wiley & Sons Ltd. (2), 129-186.
- Richards D. 1983. The grape root system. Horticultural Reviews, 5: 127-168.
- Riou C. 1994. Le determinisme climatique de la maturation du raisin: application au zonage de la teneur en sucre dans la communauté européenne. Luxemburgo: Office des Publications Officielles des Communautés Européennes. 319p.
- Roberts A, Oparka K. 2003. Plasmodesmata and the control of symplastic transport. Plant, Cell & Environment, 26(1): 103-124.

- Roby G, Matthews M. 2004. Relative proportions of seed, skin and flesh, in ripe berries from Cabernet Sauvignon grapevines grown in a vineyard either well irrigated or under water deficit. *Australian Journal of Grape and Wine Research*, 10(1): 74-82.
- 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.
- Rodrigo A, Recous S, Neel C, Mary B. 1997. Modelling temperature and moisture effects on C-N transformations in soils: comparison of nine models. *Ecological Modelling*, 102(2-3):325-339.
- Roelfsema M, Hedrich R. 2005. In the light of stomatal opening: new insights into 'the Watergate'. *New Phytology*, 167(3): 665-691.
- Rogiers S, Clarke S. 2013. Nocturnal and daytime stomatal conductance respond to root-zone temperature in 'Shiraz' grapevines. *Annals of botany*, 111(3): 433-444.
- Rogiers S, Smith J, Holzapfel B, Hardie W. 2011. Soil temperature moderates grapevine carbohydrate reserves after bud break and conditions fruit set responses to photoassimilatory stress. *Functional Plant Biology*, 38(11): 899-909.
- Rogiers S, Greer D, Hutton R, Landsberg J. 2009. Does night-time transpiration contribute to anisohydric behaviour in a *Vitis vinifera* cultivar? *Journal of Experimental Botany*, 60(13): 3751-3763.
- Rogiers S, Hatfield J, Keller M. 2004. Irrigation, nitrogen, and rootstock effects on volume loss of berries from potted Shiraz vines. *Vitis*, 43(1): 1-6.

- Rogiers S, Keller M, Holzapfel B, Virgona J. 2000. Accumulation of potassium and calcium by ripening berries on field vines of *Vitis vinifera* (L) cv. Shiraz. *Australian Journal of Grape Wine Reserch*, 6(3):240-243.
- Romero P, Gil-Muñoz R, del Amor F, Valdés E, Fernández J, 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.
- Romero P, Fernández-Fernández J, Martínez-Cutillas A. 2010. Physiological thresholds for efficient regulated deficit-irrigation management in winegrapes grown under semiarid conditions. *American Journal of Enology and Viticulture*, 61(3): 300-312.
- Sadras V, Collins M, Soar C. 2008. Modelling variety-dependent dynamics of soluble solids and water in berries of *Vitis vinifera*. *Australian Journal of Grape Wine Reserch*, 14(3): 250-259.
- Santesteban L, Royo J, 2006. Water status, leaf area and fruit load influence on berry weight and sugar accumulation of cv. 'Tempranillo' under semiarid conditions. *Scientia Horticulturae*, 109(1): 60-65.
- Santesteban L, Miranda C, Barbarin I, Royo J. 2015. Application of the measurement of the natural abundance of stable isotopes in viticulture: a review. *Australian journal of grape and wine research*, 21(2): 157-167.
- Santesteban L, Barbarin I, Miranda C, Royo J. 2014. Berry Carbon ( $\delta^{13}C$ ) and Nitrogen ( $\delta^{15}N$ ) isotopic ratio reflects within farm terroir differences. En: *Terroir congress (10<sup>o</sup>, 2014, Tokaj-Eger, Hungary)*. Proceedings. Corvinus University of Budapest: Tokaj-Eger, Hungary. 68–73.



- Santesteban L, Miranda C, Urretavizcaya I, Royo J. 2012. Carbon isotope ratio of whole berries as an estimator of plant water status in grapevine (*Vitis vinifera* L.) cv. 'Tempranillo'. *Scientia Horticulturae*, 146:7–13.
- Santesteban L, Miranda C, Royo J. 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.
- Santesteban L, Miranda C, Royo J. 2010. Suitability of pre-dawn and stem water potential as indicators of vineyard water status in cv. Tempranillo. *Australian Journal of Grape and Wine Research*, 17(1): 43–51.
- Santesteban L, Miranda C, Royo J. 2009. Effect of water deficit and rewatering on leaf gas exchange and transpiration decline of excised leaves of four grapevine (*Vitis vinifera* L.) cultivars. *Scientia Horticulturae*, 121(4): 434-439.
- Sarry J, Sommerer N, Sauvage F, Bergoin A, Rossignol M, Albagnac G. 2004. Grape berry biochemistry revisited upon proteomic analysis of the mesocarp. *Proteomics*, 4(1): 201-215.
- Schölander P, Hammel H, Bradstreet E, Hemmingsen E. 1965. Sap pressure in vascular plants. *Science*, 148(3668): 339-46.
- Schultz H. 2003. Differences in hydraulic architecture account for near-isohydric and anisohydric behavior of two field-grown *Vitis vinifera* L. cultivars during drought. *Plant Cell Environment*, 26(8): 1393-1405.
- Schultz H, Stoll M. 2010. Some critical issues in environmental physiology of grapevines: future challenges and current limitations. *Australian Journal of Grape and Wine Research*, 16(1): 4-24.

- Schultz H, Matthews M. 1993. Growth, osmotic adjustment, and cell- wall mechanics of expanding grape leaves during water deficits. *Crop Science*, 33(2): 287-294.
- Shellie K, Bowen P. 2014. Isohydrodynamic behavior in deficit-irrigated Cabernet Sauvignon and Malbec and its relationship between yield and berry composition. *Irrigation science*, 32(2): 87-97.
- Skene K, Kerridge G. 1967. Effect of root temperature on cytokinin activity in root exudate of *Vitis vinifera* L. *Plant physiology*, 42(8): 1131-1139.
- Smart R, Robinson M. 1991. Sunlight Into Wine. En: Smart R, Robinson M. (Eds.) A handbook for winegrape canopy management. Adelaide: Winetitles. 96 pp.
- Smart R, Robinson M, Due G, Brien C. 1985. Canopy microclimate modification for the cultivar Shiraz. II. Definition of canopy microclimate. *Vitis*, 24(2): 119-128.
- Smith F, Raven J. 1979. Intracellular pH and its regulation. *Annual Review of Plant Physiology*, 30(1): 289-311.
- Soar C, Dry P, Loveys B. 2006. Scion photosynthesis and leaf gas exchange in *Vitis vinifera* L. cv. Shiraz: mediation of rootstock effect via xylem sap ABA. *Australian Journal of Grape and Wine Research*, 12(2): 82–96.
- Souquet J, Labarbe B, Le Guerneve C, Cheynier V, Moutounet M. 2000. Phenolic composition of grape stems. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 48(4): 1076-1080.
- Spayd S, Tarara J, Mee D, Ferguson J. 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.

- Speirs J, Binney A, Collins M, Edwards E, Loveys B. 2013. Expression of ABA synthesis and metabolism genes under different irrigation strategies and atmospheric VPDs is associated with stomatal conductance in grapevine (*Vitis vinifera* L. cv Cabernet Sauvignon). *Journal of Experimental Botany*, 64(7): 1907-1916.
- Sperry J. 2004. Coordinating stomatal and xylem functioning—an evolutionary perspective. *New Phytologist*, 162(3): 568-570.
- Sperry J, Hacke U, Oren R, Comstock J. 2002. Water deficits and hydraulic limits to leaf water supply. *Plant Cell Environmental*, 25(2): 251-263.
- Steudle E, 2001. The cohesion-tension mechanism and the acquisition of water by plant roots. *Annual Review of Plant Biology*, 52(1): 847-875.
- Steudle E. 2000. Water uptake by roots: effects of water deficit. *Journal of Experimental Botany*, 51(350): 1531-1542.
- Stoll M, Loveys B, Dry P. 2000. Hormonal changes induced by partial rootzone drying of irrigated grapevine. *Journal of Experimental Botany*, 51(350): 1627-1634.
- Sweetman C, Deluc L, Cramer G, Ford C, Soole K. 2009. Regulation of malate metabolism in grape berry and other developing fruits. *Phytochemistry*, 70(11-12): 1329-1344.
- Taiz L, Zeiger E. 1998. *Plant Physiology* II. 2nd - Ed. Sinauer, Sunderland, Massachusetts. 792p
- Tarara J. 2000. Microclimate modification with plastic mulch. *HortScience*, 35(2): 169-180.
- Tarara J, Lee J, Spayd S, Scagel C. 2008. Berry Temperature and Solar Radiation Alter Acylation, Proportion, and Concentration of Anthocyanin in Merlot Grapes. *American Journal Enology and Viticulture*, 59(3): 235-247.

- Tardieu F, Simonneau T. 1998. Variability among species of stomatal control under fluctuating soil water status and evaporative demand: modelling isohydric and anisohydric behaviours. *Journal of Experimental Botany*, 49: 419-432.
- Tardieu F, Katerji N. 1991. Plant response to the soil water reserve: consequences of the root system environment. *Irrigation Science*, 12(3): 145-152.
- Terrier N, Ollé D, Verriés C, Cheynier V. 2009. Biochemical and molecular aspects of flavan-3-ol synthesis during berry development. En: Roubelakis-Angelakis, K.A. (Eds.), *Grapevine Molecular Physiology and Biotechnology*, second ed. Springer, Dordrecht, The Netherlands, 365-388.
- Tester M, Leigh R. 2001. Partitioning of nutrient transport processes in roots. *Journal of Experimental Botany*, 52(1): 445-457.
- Tian L, Pang Y, Dixon R. 2008. Biosynthesis and genetic engineering of proanthocyanidins and (iso)flavonoids. *Phytochemical Reviews*, 7(3): 445- 465.
- Tiscornia G, Cal A, Giménez A. Análisis y caracterización de la variabilidad climática en algunas regiones de Uruguay. *RIA. Revista de Investigaciones Agropecuarias [en línea]* 2016, 42 (Abril-Sin mes): [Fecha de consulta: 8 de diciembre de 2017] Disponible en:<<http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=86445998013>> ISSN 0325-8718).
- Tomás M, Medrano H, Pou A, Escalona J, Martorell S, Ribas-Carbó M, Flexas J., 2012. Water use efficiency in grapevine cultivars grown under controlled conditions: effects of water stress at the leaf and whole plant level. *Australian Journal of Grape and Wine Research*, 18(2): 164–172.
- Tomasi D, Pitacco A, Pascarella G. 2003. Bunch and berry temperature and anthocyanin synthesis and profile in Cabernet sauvignon. *Rivista di Viticoltura e di Enologia*, 4: 3-15

- Tonietto J. 1999. Les macroclimats viticoles mondiaux et l'influence du mésoclimat sur la typicité de la Syrah et du Muscat de Hambourg dans le sud de la France. Tesis de Doctorado ENSA Montpellier. 233p.
- Tonietto J, Carbonneau A. 2004. A multicriteria climatic classification system for grape-growing regions worldwide. *Agricultural and Forest Meteorology*, 124(1-2): 81-97.
- Tramontini S, Döring J, Vitali M, Ferrandino A, Stoll M, Lovisolo C. 2014. Soil water-holding capacity mediates hydraulic and hormonal signals of near-isohydric and near-anisohydric *Vitis* cultivars in potted grapevines. *Functional Plant Biology*, 41(11): 1119-1128.
- Tyree M, Zimmermann M. 2002. Xylem structure and the ascent of Sap. En: (Eds.). *Spring series in wood sciences*. Berlin:Springer-Verlag. 283p.
- Tyree M, Ewers F. 1991. The hydraulic architecture of trees and other woody plants. *New Phytologist*, 119(3): 345-360.
- Vaadia Y, Kasiimatis A. 1961. Vineyard irrigation trials. *American Journal Enology and Viticulture*, 12(2):88-98
- van Leeuwen C, Tregoat O, Choné X, Bois B, Pernet D, Gaudillère J. 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? *Journal International des Sciences de la Vigne et du Vin*, 43(3): 121-134.
- van Leeuwen C, Friant P, Choné X, Tregoat O, Koundouras S, Dubourdiou D, 2004. Influence of climate, soil, and cultivar on terroir. *American Journal of Enology and Viticulture*, 55(3): 207-217.

- van Leeuwen C, Guigal P, Pieris P. 1998. Observations on the influence of vine covering by means of a transparent plastic sheet on berry ripening and wine quality (Saint-Emilion, 1995-1996). *Journal International des Sciences de la Vigne et du Vin*, 32:129-136.
- Vila H. 2011. Regulación de la hidratación y la turgencia foliares por mecanismos evitadores del estrés, y resistencia a déficit hídrico en vid: Modelo vs. Experimentos. Tesis de Doctorado. Mendoza, Argentina. Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Nacional de Cuyo. 220 p.
- Werner C, Schnyder H, Cuntz M, Keitel C, Zeeman M J, Dawson T, Kayler Z. 2012. Progress and challenges in using stable isotopes to trace plant carbon and water relations across scales. *Biogeosciences*, 9(8): 3083.
- Weyand K, Schultz H. 2006. Light interception, gas exchange and carbon balance of different canopy zones of minimally and cane-pruned field-grown Riesling grapevines. *Vitis*, 45(3): 105–114
- Wien H, Minotti P, Grubinger V. 1993. Polyethylene mulch stimulates early root growth and nutrient uptake of transplanted tomatoes. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, 118(2): 207-211.
- Wilkinson S, Davies W. 2002. ABA-based chemical signalling: the co-ordination of responses to stress in plants. *Plant Cell Environment*, 25(2): 195-210.
- Williams L, Baeza P. 2007. Relationships among ambient temperature and vapor pressure deficit and leaf and stem water potentials of fully irrigated, field-grown grapevines. *American Journal of Enology and Viticulture*, 58(2): 173-181.
- Williams L, Ayars J. 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.

- Williams L, Araujo F. 2002. Correlations among predawn leaf, midday leaf, and midday stem water potential and their correlations with other measures of soil and plant water status in *Vitis vinifera*. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, 127(3): 448-454.
- Williams L, Matthews M. 1990. Grapevine. En: Stewart B, Nielson N. (Eds.) *Irrigation of Agricultural Crops, Agronomy Monograph*. Madison: ASA-CSSA-SSSA. (30). 1019-1055 p.
- Winkel T, Rambal S. 1993: Influence of water stress on grapevines growing in the field: from leaf to whole-plant response. *Australian Journal of Plant Physiology*, 20(2): 143-157.
- Winkler A, Cook J, Kliever W, Lider L. 1974. *General viticulture*. Los Angeles: Universidad California. Press. 710p.
- Zamora F. 2003. Elaboración y crianza del vino tintos: aspectos científicos y prácticos. En: Vicente A. (Eds.). *Elaboración y crianza del vino*. Madrid: AMV Ediciones y Ediciones Mundi-Prensa. 225 p.
- Zeiger E, Talbott T, Frechilla S, Srivastava A, Zhu J. 2002. The guard cell chloroplast: a perspective for the twenty-first century. *New Phytologist*, 153(3): 415-424.
- Zelleke A, Kliever W. 1979. Influence of root temperature and rootstock on budbreak, shoot growth, and fruit composition of Cabernet Sauvignon grapevines grown under controlled conditions. *American Journal of Enology and Viticulture*, 30(4): 312-317.
- Zhang Y, Keller M. 2015. Grape berry transpiration is determined by vapor pressure deficit, cuticular conductance, and berry size. *American Journal of Enology and Viticulture*, 66: 454-462.

- Zribi W, Faci J, Aragües R. 2011. Efectos del acolchado sobre la humedad, temperatura y salinidad de suelos agrícolas. *Información Técnica Económica Agraria*, 107(2): 148-162.
- Zufferey V, Cochard H, Ameglio T, Spring J, Viret O. 2011. Diurnal cycles of embolism formation and repair in petioles of grapevine (*Vitis vinifera* cv. Chasselas). *Journal of experimental botany*, 62(11): 3885-3894.
- Zufferey V, Murisier F, Schultz H. 2000. A model analysis of the photosynthetic response of *Vitis vinifera* L. cvs Riesling and Chasselas leaves in the field: I. Interaction of age, light and temperature. *Vitis*, 39(1): 19-26.



## 7. ANEXOS

### 7.1. Maduración de la uva de *vitis vinifera* L. en respuesta al estado hídrico y las modificaciones micro-ambientales<sup>1</sup>.

Gustavo Pereyra <sup>a\*</sup>, Ferrer Milka <sup>a</sup>

<sup>a</sup> Departamento de Producción Vegetal, Facultad de Agronomía, Universidad de la República.

Garzón 780, 12900, Montevideo, Uruguay

Correo electrónico: pergusal@gmail.com

#### RESUMEN

El estudio se realizó en un viñedo comercial del Sur de Uruguay en dos cultivares, Tannat y Syrah, injertados sobre 3309C. Las parcelas contiguas entre sí, aseguraron la misma oferta y demanda hídrica, permitiendo evaluar la respuesta varietal. La cobertura utilizada fue el polietileno. Se evaluó la modificación inducida por la cobertura del suelo en el microclima (temperatura de canopia, humedad relativa y luminosidad) y a nivel de planta se determinó: el estado hídrico (potencial foliar de base,  $\Psi_b$ ), componentes de la baya, seguimiento de la composición química de la baya (pH, acidez, azúcares, antocianos). El peso de baya estuvo fuertemente relacionado al estado de hidratación y varió según el tratamiento y la variedad. Con referencia al metabolismo primario, la capacidad varietal en la acumulación de azúcares fue comprobada en este estudio. La condición de cobertura de suelo, mejoró las condiciones lumínicas, estimulando la acumulación de azúcares en Tannat. En un estado hídrico similar, estas variedades muestran un comportamiento diferencial en los componentes físicos de la baya, la composición primaria y secundaria de la uva. Esto hace suponer mecanismos diferentes en estas variedades en los procesos involucrados en la maduración de la uva.

**Palabras clave:** componentes de la baya, azúcares, antocianos, cobertura del suelo

---

<sup>1</sup> Para Agrociencia

## Grape ripening of *Vitis Vinifera* L. in response to water condition and micro-environmental modifications.

### SUMMARY

The study was conducted in a commercial vineyard in the South of Uruguay, in plants grafted on 3309C, trained on a trellis system. The plots were contiguous with each other, ensuring the same water supply and demand, allowing to evaluate the varietal response. To control rain water, plastic cover was placed on the ground since veraison. The polyethylene used was white on both sides, 220 microns thick, with UV treatment. The soil coverage induced modification of the microclimate (canopy temperature, relative humidity and luminosity) was evaluated and at plant level; the hydric status (base foliar potential,  $\Psi_b$ ), berry components, monitoring of the berry's chemical composition (pH, acidity, sugars, anthocyanins), were determined. The berry weight was strongly related to the hydration status and varied according to treatment and variety. With reference to the primary metabolism, the varietal capacity in the accumulation of sugars was proven in this study. The condition of soil cover improved the lighting conditions, stimulating the accumulation of sugars in Tannat. In a similar water status, these varieties all display differential behavior in the physical components of the berry, the primary and secondary grape composition. This suggests different mechanisms in the processes involved in the ripening of the grapes for these varieties

**Key words:** berry components, sugars, anthocyanin, soil cover

### Introducción

El agua es el principal compuesto que predomina en la planta. La evolución del estado hídrico en la vid influye sobre la composición de la uva, tanto en los contenidos de azúcares, ácidos orgánicos y compuestos fenólicos siendo su efecto dependiente del momento, duración e intensidad del déficit (Keller, 2015; Deloire *et al.*, 2006).

Con un déficit hídrico leve, se puede aumentar la acumulación de azúcares y mejorar la composición de la fruta, al restringirse el crecimiento vegetativo, particularmente al comienzo de la maduración (van Leeuwen *et al.*, 2004; Ojeda *et al.*, 2002). El ácido málico y el tartárico,

constituyen entre el 70-90% de los ácidos presentes en la uva, acumulándose en la etapa previa al envero (Dai *et al.*, 2011).

Los antocianos comienzan a acumularse desde el envero y alcanzan su contenido máximo, unas semanas antes de la cosecha y disminuyen hacia el final del período (González-Neves y Ferrer, 2005). Existe una influencia directa, entre el déficit de agua y la mejora de la síntesis de antocianos (Roby y Matthews, 2004; Ojeda *et al.*, 2002). Además del agua, la luz y la temperatura, son factores que influyen en la síntesis y degradación de antocianos, encontrándose ambos parámetros muy relacionados entre sí (Spayd *et al.*, 2002). Las temperaturas diurnas y nocturnas moderadas en el entorno de 15 a 25°C favorecen la biosíntesis de antocianos (Mori *et al.*, 2005), mientras que bayas expuestas a temperaturas superiores a 30-35°C, la síntesis se ve afectada y se acelera su degradación (González-Neves, 2005; Spayd *et al.*, 2002).

En este trabajo se evaluó el efecto del el estado hídrico y los parámetros micro-ambientales en los principales componentes primarios y secundarios de la uva en dos variedades de *Vitis vinífera* L., Syrah y Tannat, sometidas a tratamientos con y sin cobertura del suelo con un material sintético.

## **Materiales y métodos**

### **Condiciones del ensayo**

Se instaló en un viñedo comercial del sur de Canelones, Uruguay (Lat.:34° 37' S; 56° 17' W) durante las temporadas 2014/2015 (ciclo 2015) y 2015/2016 (ciclo 2016). Se utilizó viñedos de las variedades Tannat y Syrah, injertadas sobre 3309C, conducidas en espaldera, con filas orientadas N-S de 18 años de edad. Las distancias entre plantas, en Tannat corresponde a 2,4 m \* 1 m (4166 plantas por hectárea) y Syrah a 2,5 m \* 1 m (4000 plantas por hectárea). Las parcelas se encontraban contiguas entre sí, asegurando las mismas condiciones edáficas y meteorológicas para las dos variedades. El sistema de poda en Tannat fue guyot doble (media de 6 yemas/cargador) y en Syrah fue royat (media 2 yemas/pitón). El manejo general del viñedo estuvo a cargo del viticultor.

Para controlar el aporte de agua de lluvia y modificar las condiciones micro-meteorológicas, a partir del 50% de envero (35 EyL) se cubrió el suelo con una cobertura sintética (2015 el 8 de enero; 2016 el 14 de enero) en dos filas de las parcelas. La cobertura utilizada fue el polietileno de color blanco en ambas caras, de 220 micrones de espesor, con tratamiento UV. Los tratamientos cubiertos se realizaron en una sola fila por variedad (45 plantas), abarcando todo el largo de la fila y las entrefilas contiguas.

Los tratamientos que se realizaron fueron: 1. Tannat sin cubrir (SC); 2. Tannat Cubierto (C); 3. Syrah sin cubrir (SC) y 4. Syrah cubierto (C). En cada tratamiento fueron

seleccionadas 20 plantas de similar peso de poda, para asegurar condiciones de vigor comparable. En este grupo de plantas se le realizaron las diferentes mediciones.

### **Condiciones meteorológicas y micro-meteorológicas**

Datos climáticos: Análisis del meso-clima información climática obtenida de la estación meteorológica ubicada en la localidad de Las Brujas perteneciente al INIA (Altitud 32 m; Latitud 34°40' S; Longitud 56°20' O; distancia al mar 14,69 Km.) que cumple con las normas de la OMM (Organización Meteorológica Mundial).

Evaluación del microclima: en cada tratamiento se instalaron tres sensores de temperatura (Ibutton thermochron USA, DS-1921g,  $\pm 0.5$ ), humedad (Hobo PRO V2, U23-002 USA;  $\pm 0.2$ ) y luminosidad (Hobo Pendant Temperature/Light 8K UA-002-08, U23-002 USA;  $\pm 0,2$ ) dentro de la canopia. Estos sensores se instalaron dos semanas previas a la instalación de la cobertura.

### **Evaluaciones sobre la planta**

Estado hídrico: fue estimado a partir del potencial hídrico foliar de base ( $\Psi_{fb}$ ) mediante la técnica de Scholander *et al.*, (1965), utilizando una cámara de presión ("Soil moisture equipment" mod. 3005 1412). Se tomaron 10 hojas por tratamiento (5 del lado este y 5 del lado oeste) adultas y sanas, durante la madrugada.

Composición de la baya durante la maduración: a partir del 50% de envero en los estados fenológicos 35, 36, 37 y 38 según Eichhorn y Lorenz (1977) modificados por Coombe (1995), se tomaron muestras de 250 bayas por duplicado según protocolo propuesto por Carbonneau *et al.*, (1991). El muestreo fue realizado en el mismo día para todos los tratamientos de forma de comparar la dinámica de maduración y composición básica de la uva. Según método de la O.I.V (2009), se determinó: sólidos solubles por refractometría (Atago, Master-T, Japón); pH por potenciometría (Hanna pH/ORP, HI 2211, USA) y acidez total, por titulación (Bureta Mohr) y se determinó el peso de la baya (balanza Ohaus Scout, Ohaus Corp., USA).

El criterio utilizado para definir el momento de cosecha fue el pH, cuando este alcanzara valores superiores a 3,25; máximo de azúcares, evolución del peso de la baya y estado sanitario de la uva. En cada variedad, los tratamientos fueron cosechados el mismo día. En cosecha se determinó:

- a) La *composición básica* como fue descrita en el párrafo anterior.
- b) El *contenido de antocianos*, tomándose tres muestras de 250 bayas para determinar el potencial polifenólico (potencial total en antocianos ApH 1,0 y potencial de antocianos extraíbles ApH 3,2), siguiendo la metodología propuesta por Glories y Augustin (1993) modificado por González-Neves (2005).
- c) Sobre una muestra de 50 bayas se determinó los componentes físicos de la baya. Se pesaron y separaron los hollejos, semillas y la pulpa. Los hollejos y semillas se secaron con papel de filtro (balanza Ohaus Scout -Ohaus Corp., USA). El peso de

la pulpa fue estimado por diferencia entre el peso de baya y los pesos de hollejos y semillas.

Análisis estadístico: Los datos obtenidos fueron analizados mediante Análisis de Varianza y por comparaciones de medias por Fisher con una probabilidad de error ( $p < 0,05$ ) con paquete estadístico INFOSTAT® (2013).

## **Resultados**

### **Condiciones meteorológicas y micro-meteorológicas de los años de ensayo**

El componente térmico, fue similar para los dos ciclos de cultivo (setiembre a marzo), siendo el 2016 levemente superior (1,6 °C temperatura media) que el 2015. El componente hídrico, para la temporada 2015 presenta precipitaciones mayores durante la primavera (04 – 27 Eyl) muy superiores a la ETP para los meses de setiembre y noviembre. Durante los meses de maduración (enero-marzo) las precipitaciones disminuyeron y se encontraron por debajo del promedio mensual (100 mm) y la ETP fue superior. La precipitación para todo el ciclo de cultivo represento 778 mm. En cambio, la temporada 2016, con un acumulado de 484 mm de precipitaciones, presentó una mayor demanda para todos los meses del ciclo (ETP ciclo 1176 mm), esto asociado con a la mayor cantidad de días (43 días frente a 34 días de 2015) con temperaturas extremas y a mayor temperatura promedio (1,6° C superior). Se remarca para esta temporada, un período de maduración particular, con un mes de enero

muy seco (8 mm) y un febrero con 83 mm de precipitaciones, por debajo del promedio histórico mensual (112 mm).

### Micro-clima en la zona del racimo

#### Temperatura de canopia

La temperatura en la zona próxima a los racimos, no mostró diferencias significativas entre años ( $p$ -valor=0,67) o tratamientos, ( $p$ -valor=0,87;  $p$ -valor=0,65 respectivamente). En las dos variedades y los dos años, el porcentaje de horas con temperaturas superiores a 35°C fue superior cuando se colocó polietileno en el suelo (cuadro 1).

Cuadro 1: Porcentaje de horas según categoría de temperatura por variedad y tratamiento.

Categorías de temperatura (°C)	Tannat		Syrah	
	Cubierto	Sin Cubrir	Cubierto	Sin Cubrir
	<b>2015</b>			
<b>Menos de 25</b>	57	57	53	50
<b>Entre 25 y 30</b>	16	16	16	14
<b>Entre 30 y 35</b>	15	20	16	21
<b>Más de 35</b>	12	7	15	15
	<b>2016</b>			
<b>Menos de 25</b>	56	55	53	55
<b>Entre 25 y 30</b>	17	16	11	15
<b>Entre 30 y 35</b>	14	18	16	16
<b>Más de 35</b>	13	11	10	3



## Luminosidad

Independientemente del tratamiento y la variedad, el efecto año está presente en la luminosidad en la zona de racimos expresada como densidad de flujo de fotosintéticos (PPFD) en  $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ . El año 2015 presenta mayor luminosidad promedio  $307 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$  con respecto al 2016 con  $232 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$  ( $p\text{-valor} < 0,001$ ).

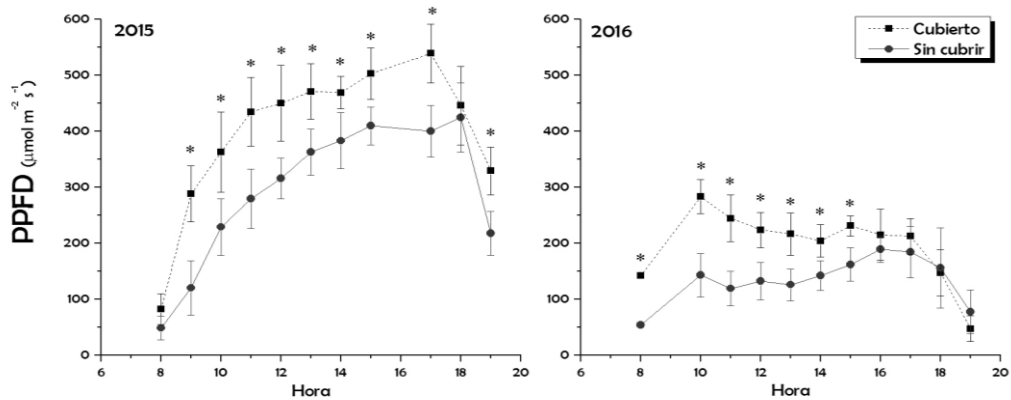


Figura 3: Evolución horaria de la luminosidad incidente (PPFD) a nivel de racimos, expresado como promedios diarios según condición de cobertura para las temporadas 2015 y 2016.

\* Diferencias significativas según Fisher. Media más desvío estándar.

Cuando se considera la evolución horaria (figura 3) según tratamiento, se observa para la condición bajo el polietileno una mayor luminosidad para la mayoría de las horas del día, para los dos años de estudio, frente a la condición de suelo sin cobertura.

## Parámetros micro-climáticos según estado fenológico

Los registros micro-climáticos en la zona de racimos en el período de maduración de Tannat en 2015 presentan un inicio (35 Eyl) con temperaturas que oscilan en los  $28^{\circ}\text{C}$

promedio para ambos tratamientos y con una mayor luminosidad bajo C. Durante la maduración se registran temperaturas menores (22 °C), mayor humedad relativa y menor luminosidad promedio para los dos tratamientos. En el estado 38 EyL, las condiciones meteorológicas continuaron con temperaturas más frescas y de menor luminosidad en los dos tratamientos. En el 2016 en relación 2015, las condiciones micro-climáticas durante la maduración muestran mayor temperatura para todo el período, alcanzando temperaturas de 42°C y un número mayor de horas con temperatura superior a 35°C. Además, la humedad relativa en el estado 38 EyL (2015: 80% - 2016: 90%) y menor luminosidad para todo el período de maduración que lo registrado en 2015 (cuadro 2).

Cuadro 2: Registro de temperatura, humedad relativa y luminosidad a nivel de racimos según estado fenológico para Tannat, para los ciclos 2015-2016.

Estado Fenológico EyL	35 (12/01/15)		36 (20/01/15)		37 (02/02/15)		38 (20/02/15)	
	Cubierto	Sin Cubrir	Cubierto	Sin Cubrir	Cubierto	Sin Cubrir	Cubierto	Sin Cubrir
2015								
Tmedia (°C)	28 (36-21)	28 (37-21)	22 (28-17)	21 (26-24)	26 (37-18)	26 (36-24)	19 (22-14)	19 (22-13)
Horas con T > 35°C	4	5	0	0	3	2	0	0
HR media (%)	66 (94-40)	72 (93-41)	71 (95-44)	87 (95-78)	72 (95-45)	76 (94-58)	72 (93-41)	88 (94-24)
Horas con HR > 90%	4	8	4	10	6	7	4	13
Lum media (μmol m <sup>-2</sup> s <sup>-1</sup> )	467 (791-4)	360 (612-10)	245 (510-28)	120 (242-17)	358 (739-42)	294 (616-13)	86 (229-30)	54 (153-54)
2016								
	35 (19/01/16)		36 (11/02/16)		37 (22/02/16)		38 (11/03/16)	
Tmedia (°C)	25 (36-15)	25 (38-14)	27 (42-14)	27 (42-14)	27 (37-20)	27 (40-20)	17 (21-15)	18 (22-15)
Horas con T > 35°C	4	3	8	7	4	5	0	0
HR media (%)	63 (98-19)	66 (97-24)	60 (97-20)	62 (96-25)	73 (99-39)	74 (100-43)	87 (100-56)	91 (100-68)
Horas con HR > 90%	8	8	6	6	7	6	14	17
Lum media (μmol m <sup>-2</sup> s <sup>-1</sup> )	202 (782-2)	145 (510-12)	146 (586-4)	91 (306-6)	302 (561-42)	148 (510-8)	373 (876-24)	183 (550-5)

Valores promedio y rango (máximo y mínimo) - T: Temperatura de canopia – HR: Humedad Relativa – Lum: Luminosidad

Cuadro 3: Registro de temperatura, humedad relativa y luminosidad a nivel de canopia según estado fenológico para Syrah, para los ciclos 2015-2016.

Estado Fenológico EYL	35 (08/01/15)		36 (12/01/15)		37 (26/01/15)		38 (12/02/15)	
	Cubierto	Sin Cubrir	Cubierto	Sin Cubrir	Cubierto	Sin Cubrir	Cubierto	Sin Cubrir
2015								
Tmedia (°C)	25 (35-20)	25 (33-20)	29 (40-20)	28 (37-17)	28 (40-19)	27 (37-24)	25 (37-15)	23 (36-15)
Horas con T > 35°C	1	0	8	3	8	4	4	3
HR media (%)	73 (95-33)	54 (84-29)	70 (92-40)	69 (84-43)	60 (92-18)	71 (94-47)	64 (92-32)	80 (100-47)
Horas con HR > 90%	0	0	2	0	3	5	2	11
Lum media (μmol m <sup>-2</sup> s <sup>-1</sup> )	526 (816-229)	521 (1428-134)	503 (791-88)	387 (612-73)	360 (612-47)	253 (484-30)	438 (637-114)	367 (816-38)
2016								
	35 (19/01/16)		36 (26/01/16)		37 (11/02/16)		38 (22/02/16)	
Tmedia (°C)	29 (43-20)	25 (38-14)	25 (33-20)	23 (36-14)	28 (39-21)	27 (40-14)	25 (37-16)	26 (36-19)
Horas con T > 35°C	6	3	0	1	5	6	2	2
HR media (%)	62 (99-18)	63 (93-26)	61 (92-19)	60 (86-24)	59 (98-12)	59 (91-24)	72 (100-28)	73 (96-44)
Horas con HR > 90%	7	4	3	0	6	2	4	6
Lum media (μmol m <sup>-2</sup> s <sup>-1</sup> )	278 (597-2,4)	270 (510-2,4)	225 (612-2,3)	45 (161-4,4)	210 (484-14)	56 (218-22,5)	302 (561-41)	148 (510-8,2)

Valores promedio y rango (máximo y mínimo) - T: Temperatura de canopia – HR: Humedad Relativa – Lum: Luminosidad

En el caso de Syrah, las principales diferencias en los registros micro-climáticos con respecto a Tannat, se registran en los estados 37 y 38 EYL, debido al ciclo más corto que presenta Syrah. El 2015, presenta una mayor cantidad de horas con temperaturas mayores a 35°C en la zona próxima al racimo en el tratamiento C. La humedad relativa al inicio de la maduración fue menor para ambos tratamientos y aumentó a lo largo del período de maduración, registrándose mayor cantidad de horas con humedad relativa superior al 90% en el tratamiento SC. Con respecto a la luminosidad se registró una mayor cantidad de horas con más de 600 μmol m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup> bajo cobertura de suelo (cuadro 3). En 2016, el registro térmico muestra un inicio de maduración con temperaturas más elevadas, con mayor amplitud

térmica. A su vez se registró más humedad relativa y menor luminosidad que lo registrado en 2015 (cuadro 3).

## Respuesta de la planta

### Estado hídrico

El estado hídrico de la planta, independientemente de la variedad, presentó un marcado “efecto año”. En promedio, para el período de maduración, el ciclo 2016 tuvo valores más negativos y plantas más estresadas que durante el ciclo 2015 (2015: - 0,38 Mpa; 2016 - 0,63 Mpa; p-valor: <0,0001) (Cuadro 4).

Cuadro 4: Estado hídrico de la planta, según momento fenológico, según cultivar y tratamiento

Estado fenológico EYL	Tannat			Syrah		
	Cubierto	Sin Cubrir	p-valor	Cubierto	Sin Cubrir	p-valor
2015						
35	-0,43 ± 0,04	-0,44 ± 0,05	0,652	-0,42 ± 0,05*	-0,49 ± 0,08*	0,038
36	-0,18 ± 0,07	-0,21 ± 0,08	0,278	-0,43 ± 0,10*	-0,14 ± 0,09*	0,0001
37	-0,33 ± 0,14	-0,38 ± 0,21	0,751	-0,46 ± 0,11	-0,46 ± 0,24	0,8377
38	-0,53 ± 0,14	-0,62 ± 0,21	0,751	-0,59 ± 0,11	-0,65 ± 0,24	0,752
2016						
35	-0,54 ± 0,05	-0,55 ± 0,04	0,613	-0,63 ± 0,04*	-0,54 ± 0,03*	0,0015
36	-0,97 ± 0,14	-0,92 ± 0,10	0,483	-0,83 ± 0,11	-0,75 ± 0,09	0,2309
37	-0,64 ± 0,17	-0,72 ± 0,29	0,0015	-1,01 ± 0,22*	-0,70 ± 0,15*	0,0001
38	-0,27 ± 0,11	-0,32 ± 0,27	0,3889	-0,32 ± 0,12	-0,26 ± 0,17	0,4444

\* Diferencias significativas según Fisher. Media más desvío estándar. Estados fenológicos según Eichhorn y Lorenz (1977) modificados por Coombe (1995).

Cuando se analiza por tratamiento, Tannat en ambos años, no presentó diferencias significativas en el estado hídrico entre tratamientos para los distintos momentos fenológicos.

Se observó una menor variación del  $\Psi_{fb}$  en la condición de C que SC (Mín.: -0,53 Mpa, Máx.: -1,0 Mpa; Mín.: -0,3 Mpa, Máx.: -1,1 Mpa, respectivamente para el 2016).

En cambio, en Syrah, para los dos años de estudio, durante el período de enero (35 EyL), el tratamiento cubierto presentó plantas más estresadas que sin cobertura. Al final de la maduración, los tratamientos no mostraron diferencias significativas. Al igual que Tannat, los valores de  $\Psi_{fb}$  mostraron menor variabilidad de los valores bajo la cobertura del suelo que sin cobertura (e.j.: Mín.: -0,4 Mpa, Máx.: -1,0 Mpa; Mín.: -0,25 Mpa, Máx.: -1,0 Mpa, respectivamente para el 2016).

#### *Composición física y química de la baya*

Componentes de la baya: Independientemente del tratamiento, se puede observar un “efecto variedad” en función de un “efecto año” en los distintos componentes de la baya (cuadro 5). En el 2015, no se detectaron diferencias significativas en cuanto a los componentes de la baya entre variedades. En cambio, para el 2016, a similar peso de baya, Tannat registró un mayor % de hollejo ( $p: p:<0,0001$ ); % de semilla ( $p:<0,0001$ ), relación hollejo/pulpa ( $p:<0,0001$ ) y un menor % de pulpa ( $p:<0,0001$ ) que Syrah. Con relación al peso de baya, Tannat varió el peso entre años, disminuyendo en el 2016 ( $p: 0,025$ ), pero sin modificar estadísticamente las proporciones en sus componentes con respecto al 2015. Syrah también varió el peso de la baya, durante el 2016 disminuyó su peso ( $p: 0,017$ ), con un aumento en el % de hollejos ( $p: 0,0027$ ) y una disminución del % de pulpa ( $p: 0,0018$ ).

Cuadro 5: Valores medios de los componentes de una baya para las dos variedades y ciclos 2015-2016.

Peso / Tratamiento	Tannat			Syrah		
	Cubierto	Sin Cubrir	p-valor	Cubierto	Sin Cubrir	p-valor
Año	2015					
Baya (g)	1,9 ± 0,07*	1,7 ± 0,05*	<0,0001	1,87 ± 0,2	1,93 ± 0,1	0,2991
Pulpa (%)	77 ± 0,7*	85 ± 0,7*	<0,0001	82 ± 0,6*	89 ± 0,7*	0,0001
Hollejo (%)	17 ± 0,8*	10 ± 0,8*	<0,0001	15 ± 0,3*	8 ± 0,6*	<0,0001
Semilla (%)	6 ± 0,3*	5 ± 0,3*	0,0002	3 ± 0,3	3 ± 0,1	0,1704
Hollejo/pulpa	0,22 ± 0,02	0,11 ± 0,01	<0,0001	0,18 ± 0,01	0,08 ± 0,01	<0,0001
Año	2016					
Baya (g)	1,7 ± 0,03*	1,61 ± 0,07*	0,0010	1,6 ± 0,05	1,7 ± 0,12	0,3195
Pulpa (%)	77 ± 2,5	80 ± 2,2	0,1897	86 ± 1,8	84 ± 1,2	0,1157
Hollejo (%)	18 ± 2,6	15 ± 2,2	0,2913	15 ± 1,8	13 ± 1,1	0,1827
Semilla (%)	5 ± 0,6	5 ± 0,4	0,5322	3 ± 0,3	3 ± 0,5	0,2967
Hollejo/pulpa	0,23 ± 0,05	0,19 ± 0,04	0,1393	0,17 ± 0,03	0,15 ± 0,02	0,1797

\* Diferencias significativas según Fisher. Media más desvío estándar.

Al considerar los tratamientos, el peso de la baya, en Tannat, fue superior en el tratamiento C en los dos años evaluados. Syrah no mostró diferencias significativas entre tratamientos. En 2015, el mayor peso de las bayas en Tannat bajo C, significó un aumento de la proporción de hollejos y de semillas con una reducción de la proporción de pulpa con respecto al tratamiento SC. En 2016, el aumento del peso de baya no modificó estadísticamente la proporción de los distintos componentes de la baya, aunque se observa una tendencia a mayor proporción de hollejo y menos de pulpa. Syrah en cambio, no presentó diferencias significativas en cuanto el peso de baya. Para el 2015, se observa una mayor proporción de pulpa y menor proporción de hollejos en el tratamiento Sc, pero esto no se repite en el ciclo 2016 (Cuadro 5).

Evolución de la acumulación de azúcares y otros metabolitos: La dinámica de acumulación de azúcares, mostró en las dos variedades, años y tratamientos un aumento

sostenido de los sólidos solubles desde el envero y hasta la cosecha. En ambas variedades se observó un efecto año, presentando mayor contenido de sólidos solubles en cosecha el año 2015 (Syrah: p-valor= 0.001 y Tannat p-valor= 0,008). Cuando se analiza el efecto del tratamiento, se observa una respuesta diferencial según cultivar que se mantuvo en los dos años. Tannat presentó una mayor acumulación de SST bajo cobertura de suelo a partir del estado fenológico 36, lo que representa 10-15 días después de colocada la cobertura en el suelo. En cambio, Syrah no evidenció el mismo comportamiento, teniendo ambos tratamientos la misma dinámica de evolución.

En el ciclo 2015, Tannat presentó una dinámica de acumulación constante sin diferencias entre tratamientos al ir avanzando la maduración, registrándose diferencias entre tratamientos en cosecha. El tratamiento SC detuvo la acumulación de azúcares por baya a partir del estado fenológico 37, mientras que el tratamiento bajo cobertura continuó acumulando. En cambio, en 2016, se observaron diferencias significativas en la acumulación de azúcares por baya desde etapas más tempranas de la maduración. La dinámica de acumulación fue muy similar a la registrada en el 2015, en donde el tratamiento SC detuvo la acumulación a partir del estado 37, en cambio bajo C la acumulación continuó (figura 4).

Syrah en ambos años, no se observaron diferencias significativas en la mayoría de las fechas de muestreos en la acumulación de azúcares. En ambos años y tratamientos se presentó al inicio de la maduración, una acumulación lenta hasta el estado 36 (10 días aprox.), para registrar luego un aumento rápido (12 días aprox.) y mantenerse sin variaciones hasta la cosecha. La mayor acumulación de azúcares por baya ocurrió entre el estado 36-37.

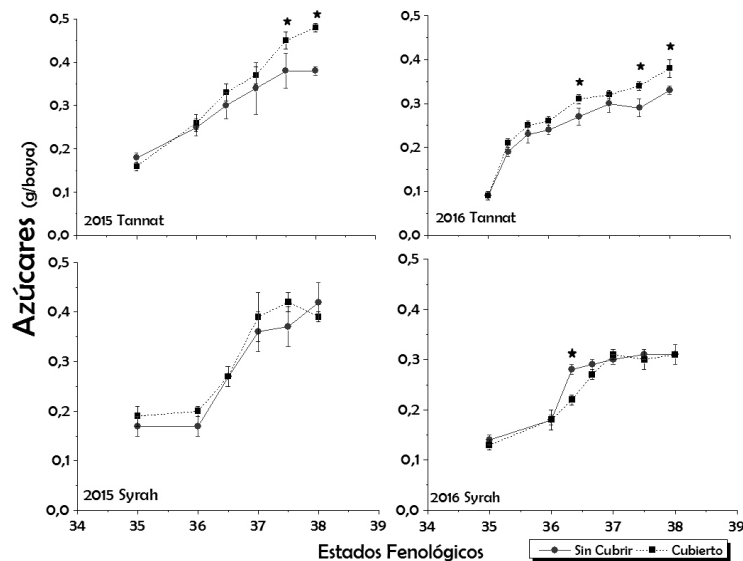


Figura 4: Evolución de los azúcares (g/baya) para las temporadas 2015 y 2016 para ambos cultivares según tratamiento. \* Diferencias significativas según Fisher. Media más desvío estándar.

La evolución del pH, no mostró diferencias significativas entre tratamientos para ambas variedades y los dos ciclos de cultivo (datos no presentados). La evolución de la acidez, disminuyó desde el envero a cosecha con una dinámica de consumo de ácidos similar entre tratamientos (datos no presentados).

Evolución de la acumulación de antocianos: En la temporada 2015, los muestreos se comenzaron en estados más avanzados de la madurez (figura 5). Tannat presentó una acumulación similar en los dos tratamientos en los primeros estadios de maduración, diferenciándose estadísticamente a partir del estado fenológico 37, en los dos ciclos de cultivo. En cosecha, valores significativamente mayores, se registraron en el tratamiento cubierto.



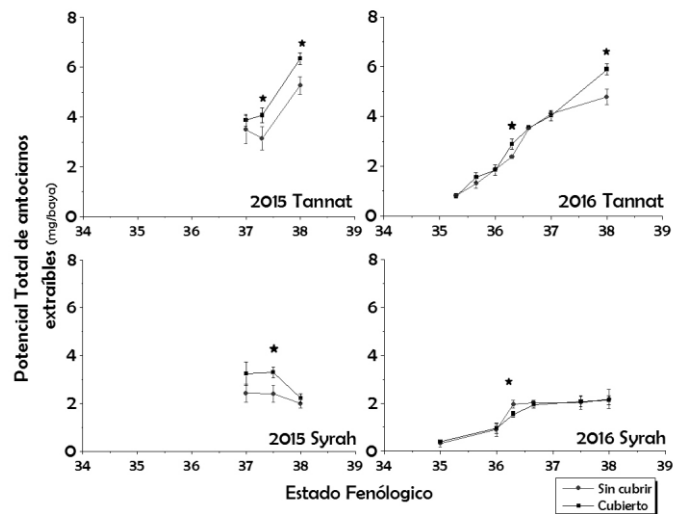


Figura 5: Evolución del potencial de antocianos totales (mg/baya) para las temporadas 2015 y 2016 para ambos cultivares según tratamiento. \* Diferencias significativas según Fisher. Media más desvío estándar.

Syrah en cambio, no mostró diferencias significativas en acumulación de antocianos en los dos ciclos de cultivo. En el ciclo 2015, el máximo de antocianos por baya ocurre en el estado 37, para luego descender hasta la cosecha. Durante el 2016 el máximo se alcanza antes del estado 37, y se mantiene en valores constantes durante el resto de la maduración.

Metabolitos primarios de la uva en cosecha: La acidez titulable no mostró diferencias significativas entre los tratamientos para ambas variedades o ciclos de cultivo (cuadro 6). En Tannat, la acidez en el tratamiento C, fue superior al SC aunque no se detectan diferencias significativas.

Tannat presentó en la acumulación de azúcares, un mayor contenido en el tratamiento C, en los dos ciclos de cultivo. El año 2015 ( $p$ -valor: 0,04), presentó valores superiores de acumulación con respecto al 2016. Syrah por el contrario no evidenció mayor acumulación de azúcares entre tratamientos (cuadro 6).

Cuadro 6: Composición química de la uva en cosecha (38 Eyl), según variedad y tratamiento

Variables/ Tratamientos	Tannat			Syrah		
	Cubierto	Sin Cubrir	p-Valor	Cubierto	Sin Cubrir	p-Valor
2015						
Azúcares (g/l)	237 ± 2,28 *	220 ± 1,1 *	<0,0001	211 ± 5,12	217 ± 1,1	0,0749
Azúcares (g/baya)	0,51 ± 0,03 *	0,37 ± 0,03 *	<0,0001	0,39 ± 0,10	0,42 ± 0,08	0,33
pH	3,37 ± 0,03	3,26 ± 0,02	0,087	3,47 ± 0,07	3,44 ± 0,03	0,715
Acidez (gH <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> /l)	3,87 ± 0,17	3,70 ± 0,04	0,105	2,72 ± 0,04	2,74 ± 0,06	0,171
2016						
Azúcares (g/l)	222 ± 8,25 *	205 ± 2,45 *	0,003	187 ± 0,71	188 ± 5,66	0,778
Azúcares (g/baya)	0,42 ± 0,02 *	0,31 ± 0,03 *	0,0001	0,29 ± 0,02	0,32 ± 0,07	0,154
pH	3,25 ± 0,07	3,28 ± 0,02	0,075	3,19 ± 0,1	3,21 ± 0,06	0,082
Acidez (gH <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> /l)	3,92 ± 0,05	3,82 ± 0,25	0,094	3,87 ± 0,2	3,92 ± 0,14	0,097

\* Diferencias significativas según Fisher. Media más desvío estándar.

Metabolismo secundario de la uva en cosecha: En los valores de antocianos y polifenoles en la uva, se observó una diferencia entre tratamientos según el cultivar (cuadro 7). Tannat sin considerar los tratamientos presentó un efecto año. En 2015 se registró una mayor concentración y cantidad potencial de antocianos totales (ApH1, mg\*L<sup>-1</sup>, mg/baya) y un mayor potencial de antocianos extraíbles (ApH 3,2).

Las bayas provenientes de las plantas del tratamiento C, en ambos años, presentaron mayor concentración en antocianos. El mayor efecto ocurrió en 2015, fundamentalmente en la cantidad de antocianos sintetizados (ApH 1,0) que alcanzaron un total de 2800 mg/l (cubierto) frente a 2370 mg/l (sin cubrir). En el caso de los antocianos extraíbles (ApH 3,2), la diferencia fue significativa en más 308 mg/l, a favor de la C. Lo mismo

sucedió en el 2016, aunque las diferencias en términos de valores absolutos, fueron menores que lo mostrado en 2015.

Cuadro 7: Contenido de antocianos en cosecha según variedad y tratamiento en los dos ciclos de cultivo

	Tannat			Syrah		
	Cubierto	Sin Cubrir	p-Valor	Cubierto	Sin Cubrir	p-Valor
2015						
ApH 1,0 (mg/l)	2798 ± 115	2374 ± 140	0,0036	1285 ± 128	1198 ± 104	0,612
ApH 1,0 (mg/baya)	6,35 ± 0,2	5,27 ± 0,4	0,0325	2,4 ± 0,14	2,2 ± 0,21	0,652
ApH 3,2 (mg/l)	1369 ± 144	1061 ± 35	0,0061	786 ± 23,2	652 ± 16,3	0,028
ApH 3,2 (mg/baya)	2,61 ± 0,3	1,91 ± 0,2	0,0036	1,46 ± 0,17	1,13 ± 0,10	0,395
2016						
ApH 1,0 (mg/l)	2183 ± 71	1981 ± 53	0,0005	1262 ± 85	1153 ± 90	0,154
ApH 1,0 (mg/baya)	5,92 ± 0,42	4,6 ± 0,2	0,0028	2,1 ± 0,21	2,0 ± 0,11	0,297
ApH 3,2 (mg/l)	891 ± 32	766 ± 21	0,0002	659 ± 37	546 ± 18	0,025
ApH 3,2 (mg/baya)	1,81 ± 0,3	1,21 ± 0,02	0,0348	1,05 ± 0,15	1,12 ± 0,23	0,151

\* Diferencias significativas según Fisher. Media más desvío estándar.

En Syrah, al considerar los tratamientos por año, se observa que, en 2015, la síntesis de antocianos totales (ApH 1,0) no fue estadísticamente diferente (p-valor= 0,7583), en tanto que los antocianos a ApH 3,2 fueron significativamente superiores bajo cobertura. En 2016 la respuesta de las plantas al tratamiento fue similar que en el 2015 con respecto a ApH 1,0 y ApH 3,2, pero con los menores valores. No se establecieron diferencias significativas en la cantidad de antocianos por baya totales o extraíbles.

## Discusión

### Condiciones meteorológicas y micro-meteorológicas

Los dos años de estudio se encuentran dentro de la clasificación climática ajustada para nuestras condiciones por Ferrer (2007) para la región del ensayo, correspondiendo a un clima templado con noches templadas y sequía moderada. El ambiente térmico e hídrico para ambas variedades fue similar y bien contrastante para los dos ciclos de cultivo lo que permite caracterizar la respuesta varietal a diferentes condiciones ambientales. Con referencia al estado hídrico, en el 2015, las plantas estuvieron sometidas a una restricción moderada ( $\Psi_{fb}$  - 0,3 a -0,4 Mpa), mientras que en el 2016 lo estuvieron a un estrés hídrico considerado severo, alcanzando valores de -0,6 a -0,7 Mpa de  $\Psi_{fb}$ , de acuerdo a los valores reportados por Ojeda *et al.*, (2008) y Deloire *et al.*, (2006).

La cobertura del suelo, aplicada desde el comienzo del período de maduración, determinó una modificación en los parámetros micro-meteorológicos, fundamentalmente condiciones más favorables en el aspecto lumínico e hídrico. Esta modificación en el microclima, es reportada como resultado del efecto directo del polietileno blanco, que actúa como un cuerpo opaco, reflejando una buena parte de la radiación solar, generando un mayor aprovechamiento por parte de las plantas (Lament, 1993). A su vez, la capacidad de la cobertura en lograr conservar la humedad depende de las características del material y del ambiente (Zribi *et al.*, 2011). Los materiales sintéticos (plásticos) son más impermeables al vapor de agua que el orgánico, conservando mejor la humedad (Zribi *et al.*, 2011).

Indirectamente con una reducción de la energía que llega al suelo en relación al suelo hay una disminución de la cantidad de agua que se evapora de las capas superficiales (Zribi *et al.*, 2011), todas estas modificaciones, determinan una mejora en las condiciones hídricas que resultan más regulares y una mayor luminosidad en los tratamientos C.

### **Peso y componentes físicos de la baya**

Estas modificaciones en la temperatura, luminosidad y humedad del suelo, indicadas anteriormente, generan cambios sobre los cultivos referentes a la resistencia estomática, radiación recibida y flujos de calor que terminan afectando la fisiología del cultivo (Zribi *et al.*, 2011) y se expresan de manera diferencial según los cultivares. El peso de baya estuvo fuertemente relacionado al estado de hidratación. En 2016 el peso de la baya fue inferior en ambas variedades, año que registró un estrés severo, lo que marca una fuerte sensibilidad al estado hídrico. Este componente del rendimiento mostró en este ensayo un comportamiento diferente según la variedad en respuesta al tratamiento. En Syrah en los dos años de estudio no se detectaron diferencias significativas entre tratamientos, siendo coincidente con lo reportado por Ezzahouani (2003). En cambio, Tannat evidenció un mayor peso de la baya en cosecha en el tratamiento C y en los dos ciclos productivos, en concordancia con otros autores citados en la bibliografía (van Leeuwen *et al.*, 1998). El mayor peso de bayas, en Tannat puede estar asociado al contenido hídrico del suelo, que presentó una menor variación y permitió evitar la deshidratación de las bayas como sí sucedió en la condición SC.

La proporción de los componentes de la baya en Tannat SC, se encuentra en concordancia con lo reportado para esta variedad (Ferrer *et al.*, 2014; González-Neves *et al.*, 2006). El peso de las semillas fue superior en Tannat con respecto a Syrah en este ensayo, manteniendo este componente de Tannat superior en comparación con otras variedades tales como Cabernet Sauvignon o Merlot (Ferrer *et al.*, 2014). El peso de semillas parece estar relacionado con el contenido de agua en el suelo y planta en etapas previas al envero (Ferrer *et al.*, 2014; Attia *et al.*, 2010). En este ensayo, los tratamientos C, fueron aplicados a partir del momento en que el desarrollo de la semilla se encuentra completado casi por completo (Kennedy *et al.*, 2001), lo que comprueba los resultados en Syrah, donde el tratamiento C, registró mayor estrés hídrico sin variación en la proporción del peso de semillas con respecto al tratamiento SC. Por otro lado, Tannat en 2015, a igual estado hídrico entre tratamientos el peso de las semillas fue superior en el tratamiento C, pero esto se debe a una reducción de la pulpa, que modifica la proporción de hollejos y semillas con respecto al tratamiento SC. Varios autores han reportado una disminución del peso de la baya frente al déficit hídrico (Porro *et al.*, 2008) y las modificaciones en los componentes son variables según las variedades (Roby *et al.*, 2004), lo que pudo ser comprobado en los resultados de este ensayo. Los resultados obtenidos en este ensayo, muestran que en Tannat la variación en el peso de la baya, no modifica la proporción de los componentes pulpa y semilla sino el de hollejos. En cambio, Syrah que también redujo el peso de baya, disminuyó significativa la proporción de pulpa y un aumentó la de hollejos. Esta mayor proporción de hollejos registrada en el 2016, puede estar explicada a un aumento del grosor de las paredes celulares como medida de protección frente al estrés hídrico (Porro *et al.*, 2008). A su vez con referencia al

porcentaje de hollejos, el tratamiento C en ambas variedades para el 2015 mostró valores significativamente más elevados que en el tratamiento SC.

## **Composición química de la baya**

### *Componentes del metabolismo primario*

De acuerdo al criterio de cosecha aplicado (valor de pH del mosto), no hubo diferencias en la fecha de cosecha en las variedades o en los ciclos de cultivo. En Italia, Novello *et al.*, (2000), trabajando con uva de mesa Matilde, demostraron que la cobertura con polietileno desde antes de la brotación, permitía un adelanto de esta de 12 a 20 días y de 8 a 22 días en la madurez. Otros autores, reportan un adelanto de la maduración para otras situaciones y variedades (Ezzahouani, 2003).

La síntesis de azúcares depende de las condiciones ambientales, de la capacidad varietal y del estado hídrico (Keller, 2015; Ojeda *et al.*, 2008). La capacidad varietal en la acumulación de azúcares fue comprobada en este estudio, mostrando en Tannat un mayor potencial de acumulación con respecto a Syrah. Las condiciones meteorológicas, las temperaturas entre 25 y 30°C y la luminosidad de entre 600 a 1200  $\mu\text{mol m}^{-2} \text{sec}^{-1}$ , son citadas como rangos óptimos para la acumulación de azúcares (Keller, 2015; Hunter y Bonnardot, 2011). Los dos años evaluados en este estudio, difieren en estos parámetros, lo que se manifestó de igual manera en ambas variedades. Tanto en Tannat como Syrah, las condiciones meteorológicas de 2016 (mayor temperatura, menor luminosidad y mayor

restricción hídrica) determinaron una disminución en la acumulación de azúcares con respecto al año 2015. Estas condiciones ambientales son citadas en el bloqueo de la fotosíntesis y por ende en la disminución de la acumulación de azúcares (Keller, 2015; Ojeda *et al.*, 2008; Roby *et al.*, 2004). Por otra parte, las condiciones opuestas en 2015, que fueron favorables a la fotosíntesis, explicarían la mayor acumulación de azúcares que se registró en ese año (Intrigliolo *et al.*, 2012).

La carga de azúcares presentó un comportamiento diferencial entre tratamientos según la variedad. La condición de C de suelo, mejoró las condiciones lumínicas para ambas variedades, pero la capacidad fotosintética de las hojas en respuesta a la luz, es una característica varietal (Keller, 2015). En este sentido, Syrah no mostró diferencias significativas entre tratamientos en la acumulación de azúcares ni en cosecha, a pesar de que en el tratamiento C las condiciones lumínicas y térmicas fueron más favorables que en el SC, coincidente con lo reportado por (Ferrara *et al.*, 2012). En respuesta a las mejores condiciones lumínicas, Tannat presentó una acumulación de azúcares significativamente superior en el tratamiento C, en concordancia con lo citado en la bibliografía (Ezzahouani, 2003; van Leeuwen *et al.*, 1998), lo que hace suponer una mayor sensibilidad a la luz que en Syrah.

#### *Componentes del metabolismo secundario*

El contenido de antocianos está determinado por el potencial genético de la variedad, factor que determinó las diferencias obtenidas en las dos variedades estudiadas (González-



Neves *et al.*, 2012; Downey *et al.*, 2006). De las condiciones micro-ambientales implicados en la acumulación de antocianos, se destacan la luminosidad y la temperatura (óptimos entre 25°C a 30°C) como determinantes en el balance final de antocianos (Tarara *et al.*, 2008; Mori *et al.*, 2007; Spayd *et al.*, 2002). En este sentido, las condiciones ambientales en el 2016, mayor temperatura extrema y menor luminosidad, serían los factores que determinaron la diferencia de antocianos totales registrada en este ensayo, principalmente en Tannat, en comparación con el 2015. Por otro lado, Syrah no mostró diferencias en la acumulación de antocianos entre años, indicando un potencial genético que no respondió a las diferentes condiciones meteorológicas de los dos años. En cuanto a la dinámica de acumulación de antocianos, Syrah con un período de maduración más corto que Tannat, soportó temperaturas más elevadas al final de la maduración, lo que explicaría la disminución de antocianos/baya, registradas en el 2015, como consecuencia de una mayor degradación. En otro sentido, el factor hídrico, jugó un papel más relevante en el ciclo 2016 en balance final de antocianos y es reportado como otro de los factores que influyen en la síntesis de metabolitos secundarios (Romero *et al.*, 2013; Ojeda *et al.*, 2008). Durante el inicio de la maduración los potenciales registrados fueron de fuertes a severos ( $> -0,55$  Mpa) rangos en donde la biosíntesis de antocianos se ve alterada, principalmente en Syrah (Ojeda *et al.*, 2008; Deloire *et al.*, 2006).

En respuesta a los tratamientos, las condiciones micro-ambientales fuera del rango óptimo, determinarían la caída en antocianos/baya ocurrida en el 2015 en Tannat SC. Si bien los tratamientos presentaron rango térmico similar, la mayor luminosidad registrada en el tratamiento C determinaría el leve aumento registrado en antocianos/baya. Durante este

período se registró una mayor luminosidad por encima del rango de 200  $\mu\text{mol m}^{-2} \text{sec}^{-1}$  señalado como óptimo (Bergqvist *et al.* 2001). Al avanzar la maduración las condiciones de luminosidad fueron menores para ambos tratamientos, pero las temperaturas diurnas y nocturnas fueron más moderadas encontrándose cercanas al rango de 15-25°C, el cual está reportado como favorable para la síntesis y acumulación de antocianos (Hunter y Bonnardot, 2011; Mori *et al.*, 2005). En Syrah, no se observa un efecto del tratamiento en la síntesis de antocianos totales, pero sí una mayor extrahabilidad en el tratamiento C. Esto podría estar explicado por una mayor debilidad de las paredes celulares de los hollejos ocasionada por la mayor exposición de los racimos a la luz según lo reportado por McLeod *et al.*, (2008).

## Conclusiones

El peso de baya estuvo fuertemente relacionado al estado de hidratación. En ambas variedades el peso de la baya fue sensible al estado hídrico. Esta disminución del peso no modificó la proporción de los componentes de la baya en Tannat, pero sí en Syrah con una disminución de la proporción de pulpa. El efecto del tratamiento marcó una respuesta diferencial según variedad, aumentando el peso en Tannat y sin efecto en Syrah, aunque el porcentaje de hollejos aumentó en ambas variedades en respuesta a las mejores condiciones lumínicas y el contenido hídrico.

Con referencia al metabolismo primario, la capacidad varietal en la acumulación de azúcares fue comprobada en este estudio, mostrando en Tannat un mayor potencial de acumulación con respecto a Syrah y una disminución en ambas variedades en años de mayor

déficit hídrico. La cobertura de suelo, mejoró las condiciones lumínicas para ambas variedades, lo que determinó una disminución de ácido málico y en Tannat, significó un aumento de la acumulación de azúcares. Lo que parece indicar una respuesta diferencial en la fotosíntesis de estos cultivares a la saturación en luz.

A nivel del contenido en antocianos, condiciones de mayor déficit hídrico, mayor temperatura extrema y menor luminosidad, serían los factores que determinaron bajos niveles de antocianos acumulados desde momentos tempranos de la maduración, efecto que fue más marcado en Syrah, variedad con menor potencial genético. El efecto del tratamiento, con una mayor luminosidad registrada determino una mayor concentración de antocianos/baya.

Los resultados en los componentes de la baya y en la composición primaria y secundaria de la uva, muestran un comportamiento diferencial de estas variedades frente a similar estado hídrico. Esto parece indicar mecanismos independientes en estas variedades en los procesos implicados en la maduración de la uva.

## Bibliografía

- Attia, F., Garcia, F., Ben-Mariem, F., Nuzzo, V., Dedieu, F., Garcia, M. y Lamaze, T.** (2010). Water stress in Tannat and Duras grapevine cultivars (*Vitis vinifera* L.): Leaf photosynthesis and grape phenolic maturity. *Journal international des sciences de la vigne et du vin*, 81-93.
- Bergqvist, J., Dokoozlian, N. y Ebisuda, N.** (2001). Sunlight exposure and temperature effects on berry growth and composition of Cabernet Sauvignon and Grenache in the Central San Joaquin Valley of California. *American Journal Enology Viticulture*, 52(1), 1-7.
- Carbonneau, A., Moueix, A., Leclode, N. y Renoux, J.** (1991). Proposition d'une méthode de prélèvement de raisin á partir de l'analyse de l'heterogénéité de maturation sur un cep. *Bulletin OIV*. 64, 679-690.
- Coombe, B.** (1995). Adoption of a system for identifying grapevine growth stages. *Australian Journal of Grape and Wine Research*, 1(2), 104-110.
- Dai, Z., Ollat, N. y Gomes, E.** (2011). Ecophysiological, genetic and molecular causes of variation in grape berry weight and composition: a review. *American Journal of Enology and Viticulture*, 62(4), 413-425.

- Deloire, A., Carbonneau, A., Wang, Z. y Ojeda, H.** (2006). Vid y agua. Una breve revisión. *Revista Enología*, (5), 36-42
- Eichhorn, K. y Lorenz, H.** (1977). Phönologische entwicklungsstadien der rebe. Nachrichtenbl. Dtsch. Pflanzenschutzd. Braunschweig, 29, 119-120.
- Ezzahouani A.** (2003). Behaviour study of "Danlas" grapevines grown under plastic cover. *Journal International des Sciences de la Vigne et du Vin*, 37,14-21.
- Ferrara, G., Fracchiolla, M., Chami, Z., Camposeo, S., Lasorella, C., Pacifico, A., Aly, A. y Montemurro, P.** (2012). Effects of mulching material son soli and performance of cv. Nero di Troia grapevines in the Puglia region, southeastern Italy. *American Journal of Enology and Viticulture*, 63, 269-276.
- Ferrer, M.** (2007). Étude du climat des régions viticoles de l'Uruguay, des variations climatiques et de l'interaction apportée par le microclimat et l'écophysiologie des systèmes de conduite Espalier et Lyre sur Merlot. PhD Thesis, École Nationale Supérieure Agronomique Université de Montpellier II, France.
- Ferrer, M., Echeverría, G. y Carbonneau, A.** (2014). Effect of berry weight and its components on the contents of sugars and anthocyanins of three varieties of *Vitis vinifera* L. under different water supply conditions. *South African Journal of Enology and Viticulture*, 35(1), 103-113.

- Glories, Y. y Augustin, M.** (1993). Maturité phénolique du raisin, conséquences technologiques: application aux millésimes 1991 et 1992. En: *Proceedings of the Compte Rendu Colloque Journée Techn CIVB*, Bordeaux, France, 56-61pp.
- González-Neves, G.** (2005). Etude de la composition polyphénolique des raisins et des vins des cépages Merlot, Cabernet-Sauvignon et Tannat provenant de vignes conduites en Lyre et en Espalier dans le sud de l'Uruguay. Tesis de Doctorado. ENSAM. Montpellier, 279 p
- González-Neves, G., Ferrer, M. y Gil, G.** (2012). Differentiation of Tannat, Cabernet Sauvignon and Merlot grapes from Uruguay according to their general composition and polyphenolic potential. *Comunicata Scientiae*, 3(1), 41-49.
- González-Neves, G., Gil, G., Barreiro, L., Ferrer, M. y Franco, J.** (2006). Composición fenólica de las uvas de las principales variedades tintas de *Vitis vinifera* cultivadas en Uruguay. *Agrociencia Uruguay*, 10(2), 1-14.
- González-Neves, G. y Ferrer, M.** 2005. Evolución de los índices de estimación del potencial polifenólico durante la maduración de uvas tintas en el sur de Uruguay. *Viticultura y Enología Profesional*, 99, 2-8.

- Hunter, J. y Bonnardot, V.** (2011). Suitability of some climatic parameters for grapevine cultivation in South Africa, with focus on key physiological processes. *South Africa Journal Enology and Viticulture*, 32(1), 137–154.
- Intrigliolo, D., Pérez, D., Risco, D., Yeves, A. y Castel, J.** (2012). Yield components and grape composition responses to seasonal water deficits in Tempranillo grapevines. *Irrigation Science*, 30(5), 339–349.
- Keller, M.** (2015). *The science of grapevines: anatomy and physiology*. Academic Press.
- 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), 268-274.
- Lament, W.** (1993). Plastic mulches for the production of vegetable crops. *HortTechnology*, 3(1), 35-39.
- McLeod, A. R., Fry, S. C., Loake, G. J., Messenger, D. J., Reay, D. S., Smith, K. A., & Yun, B. W.** (2008). Ultraviolet radiation drives methane emissions from terrestrial plant pectins. *New Phytologist*, 180(1), 124-132.

- Mori, K., Saito, H., Goto-Yamamoto, N., Kitayama, M., Kobayashi, S. y Sugaya S.** 2005. Effects of abscisic acid treatment and night temperatures on anthocyanin composition in Pinot noir grapes. *Vitis*, 44(4), 161-165.
- Novello, V., De Palma, I., Tarricone, I. y Vox, G.** (2000). Effects of different plastic sheet coverings on microclimate and berry ripening of table grape cv 'Matilde'. *Journal international des sciences de la vigne et du vin*, 34(2), 49-55.
- Ojeda, H., Deloire, A., Wang, Z. y Carbonneau, A.** (2008). Determinación y control del estado hídrico de la vid. Efectos morfológicos y fisiológicos de la restricción hídrica en vides. *Viticultura/ Enología Professional*, 90, 27-43.
- Ojeda, H., Andary, C., Kraeva, E., Carbonneau, A. y Deloire, A.** (2002). Influence of pre and postveraison water deficit on synthesis and concentration of skin phenolic compounds during berry growth of *Vitis vinifera* L., cv Shiraz. *American Journal. of Enology and Viticulture*, 53(4), 261 – 267.
- Porro, D., Ramponi, M., Tomasi, T., Rolle, L. y Poni, S.** (2008). Nutritional implications of water stress in grapevine and modifications of mechanical properties of berries. En: *VI International Symposium on Mineral Nutrition of Fruit Crops 868* (pp. 73-80).



- Roby, G. y Matthews, M.** (2004). Relative proportions of seed, skin and flesh, in ripe berries from Cabernet Sauvignon grapevines grown in a vineyard either well irrigated or under water deficit. *Australian Journal of Grape and Wine Research*, 10(1), 74-82.
- Roby, G., Harbertson, J. F., Adams, D. A., y 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.
- Romero, P., Gil-Muñoz, R., del Amor, F., Valdés, E., Fernández, J. y 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.
- Scholander, P., Hammel, H., Bradstreet, E. y Hemmingsen, E.** (1965). Sap pressure in vascular plants. *Science*, 148, 339-346.
- Spayd, S., Tarara, J., Mee, D. y Ferguson, J.** (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.
- Tarara, J., Lee, J., Spayd, S. y Scagel, C.** (2008). Berry Temperature and Solar Radiation Alter Acylation, Proportion, and Concentration of Anthocyanin in Merlot Grapes. *American Journal Enology and Viticulture*, 59(3), 235-247.

**van Leeuwen, C., Friant, P., Chone, X., Tregoat, O., Koundouras, S. y Dubourdieu D.** 2004.

Influence of climate, soil, and cultivar on terroir. *American Journal of Enology and Viticulture*, 55(3), 207-217.

**Zribi, W., Faci, J. y Aragües, R.** (2011). Efectos del acolchado sobre la humedad, temperatura

y salinidad de suelos agrícolas. *Información Técnica Económica Agraria*, 107(2), 148-162.