

UNIVERSIDAD DE LA REPÚBLICA

FACULTAD DE AGRONOMÍA

INFLUENCIA DEL COMPONENTE HÍDRICO SOBRE EL RENDIMIENTO Y
COMPOSICIÓN DE *Vitis vinifera* L. VARIEDAD TANNAT EN URUGUAY

por

Agustina CLARA TROTTA

TESIS presentada como uno de
los requisitos para obtener el
título de Ingeniero Agrónomo

MONTEVIDEO
URUGUAY
2022

Tesis aprobada por:

Director: _____

Ing. Agr. MSc. Julia Salvarrey

Ing. Agr. MSc. Gustavo Pereyra

Ing. Agr. Dra. Milka Ferrer

Fecha: 24 de febrero de 2022

Autora: _____

Agustina Clara Trotta

AGRADECIMIENTOS

A la Ing. Agr. MSc. Julia Salvarrey por su apoyo constante durante toda la tesis, sus consejos y tiempo compartido.

A la Ing. Agr. Dra. Milka Ferrer por sus aportes para enriquecer este trabajo.

A Ing. Agr. MSc. Gustavo Pereyra en conjunto con el Ing. Agr. MSc. Leandro Arrillaga por la ayuda en las tareas de campo y de laboratorio.

A la Ing. Agr. Dra. Mercedes Fourment por sus aportes.

A mis amigos por estar presentes en toda la carrera y en especial en este último tramo.

A mi familia por el apoyo constante durante todos estos años de la carrera y los valores que me han enseñado.

TABLA DE CONTENIDO

Página

PÁGINA DE APROBACIÓN.....	II
AGRADECIMIENTOS.....	III
LISTA DE CUADROS E ILUSTRACIONES.....	VIII
 1. <u>INTRODUCCIÓN</u>	1
1.1.OBJETIVOS.....	2
1.1.1. <u>Objetivo general</u>	2
1.1.2. <u>Objetivos específicos</u>	2
 2. <u>REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA</u>	3
2.1. CICLO ANUAL	3
2.1.1. <u>Crecimiento vegetativo</u>	3
2.1.1.1. Crecimiento de pámpanos y feminelas	4
2.1.1.2. Superficie foliar	4
2.1.2. <u>Crecimiento y composición de la baya</u>	5
2.1.2.1. Desarrollo y tamaño de la baya	5
2.1.2.2. Composición química primaria de la baya	7
2.1.2.3. Composición química secundaria de la baya.....	8
2.1.3. <u>Respuesta fisiológica de la planta</u>	9
2.1.3.1. Fotosíntesis y conductancia estomática	9
2.2. FACTORES CLIMÁTICOS.....	10
2.2.1. <u>Incidencia de la temperatura y la luz durante el</u> <u>crecimiento vegetativo</u>	10
2.2.2. <u>Incidencia de la temperatura y la luz durante la maduración</u> <u>de la baya</u>	10
2.2.3. <u>Componente hídrico</u>	11
2.3.VIGOR	13

2.3.1. <u>Vigor y disponibilidad hídrica</u>	14
2.4. CARACTERÍSTICAS TANNAT	17
2.5. HIPÓTESIS DE ESTUDIO.....	18
 3. <u>MATERIALES Y MÉTODOS</u>	20
3.1. CONDICIONES GENERALES DEL ENSAYO	20
3.2. DISEÑO EXPERIMENTAL.....	20
3.3. CARACTERÍSTICAS CLIMÁTICAS	22
3.3.1. <u>Índices bioclimáticos de Canelones</u>	22
3.3.2. <u>Caracterización del microclima de la canopia</u>	24
3.4. MEDICIONES EN PLANTA.....	24
3.4.1. <u>Fenología</u>	24
3.4.2. <u>Medición para estimar respuesta fisiológica</u>	25
3.4.2.1. Medición del estatus hídrico	25
3.4.2.2. Medición de fotosíntesis	25
3.4.3. <u>Caracterización vegetativa de la canopia</u>	25
3.4.3.1. Crecimiento de pámpanos y feminelas.....	25
3.4.3.2. Estimación del índice de área foliar	25
3.4.3.3. Estimación de la superficie foliar	26
3.4.3.4. Metodología de point quadrat	26
3.5. MEDICIONES DEL PESO Y LA COMPOSICIÓN DE LA BAYA.....	27
3.5.1. <u>Metabolismo primario</u>	27
3.5.2. <u>Metabolismo secundario</u>	27
3.6. MEDICIÓN DEL RENDIMIENTO Y SUS COMPONENTES	28
3.7. ÍNDICES DE RESPUESTA FISIOLÓGICA	28
3.7.1. <u>Peso de poda</u>	28
3.7.2. <u>Cálculo del índice de Ravaz</u>	28
 4. <u>RESULTADOS</u>	29

4.1. CARACTERÍSTICAS CLIMÁTICAS	29
4.1.1. <u>Características climáticas de la región</u>	29
4.1.2. <u>Condiciones del microclima de la canopia</u>	32
4.2. MEDICIONES EN PLANTA.....	35
4.2.1. <u>Caracterización vegetativa</u>	35
4.2.1.1. Crecimiento de pámpanos y feminelas.....	35
4.2.1.2. Índice de área foliar (IAF)	37
4.2.1.3. Superficie foliar.....	40
4.2.1.4. Point quadrat	39
4.2.2. <u>Peso de poda</u>	41
4.2.3. <u>Respuesta fisiológica de la planta</u>	42
4.2.3.1. Estatus hídrico durante el ciclo productivo	42
4.2.3.2. Actividad fotosintética en envero	43
4.3. MEDICIONES REALIZADAS EN LA BAYA	46
4.3.1. <u>Evolución del desarrollo de la baya</u>	46
4.3.1.1. Peso de la baya	46
4.3.1.2. Metabolismo primario	47
4.4. EVALUACIÓN DEL RENDIMIENTO Y SUS COMPONENTES EN COSECHA	49
4.4.1. <u>Peso de baya</u>	49
4.4.2. <u>Rendimiento por planta</u>	50
4.4.3. <u>Número de racimos por planta</u>	50
4.4.4. <u>Peso de racimo</u>	50
4.5. EVALUACIONES DE COMPOSICIÓN EN COSECHA.....	51
4.5.1. <u>Metabolismo primario</u>	51
4.5.2. <u>Metabolismo secundario</u>	51
4.6. ÍNDICES DE RESPUESTA FISIOLÓGICA	52
4.6.1. <u>Índice de Ravaz</u>	52
4.6.2. <u>Superficie foliar / rendimiento</u>	53
4.7. COMPONENTES PRINCIPALES	55

5.	<u>DISCUSIÓN</u>	57
5.1.	CARACTERIZACIÓN CLIMÁTICA.....	57
5.2.	INFLUENCIA DEL AGUA EN LA EXPRESIÓN VEGETATIVA	58
5.3.	INFLUENCIA DEL AGUA EN LA MADURACIÓN Y COSECHA	60
5.4.	INFLUENCIA DEL AGUA EN EL RENDIMIENTO Y SUS COMPONENTES	62
6.	<u>CONCLUSIONES</u>	64
7.	<u>RESUMEN</u>	65
8.	<u>SUMMARY</u>	66
9.	<u>BIBLIOGRAFÍA</u>	67

LISTA DE CUADROS E ILUSTRACIONES

Cuadro No.	Página
1. Umbrales hídricos foliares de base	12
2. Clasificación de Índices climáticos vitícolas	24
3. Acumulación de precipitaciones por período fenológico y ETP	31
4. Balance hídrico por tratamiento desde brotación a cosecha	31
5. Condiciones del microclima de la canopia promedio mensual.....	32
6. Evaluación del rendimiento y sus componentes en cosecha	50
7. Composición química de la uva en cosecha por tratamiento	52

Figura No.

1. Curva de crecimiento y desarrollo de la baya	7
2. Estados hídricos	17
3. Mapa de valores NDVI con las zonas de diferente vigor	21
4. Distribución de los tratamientos en la parcela experimental	22
5. Caracterización climática para el ciclo de crecimiento 2019-2020.....	30
6. Evolución de la temperatura promedio (° C) de la canopia.....	33
7. Evolución de la humedad relativa (%) promedio del microclima.....	34
8. Evolución de la intensidad lumínica promedio (PAR) del microclima.....	35
9. Evolución del crecimiento de pámpanos promedio.....	36
10. Evolución del crecimiento de feminelas promedio	37
11. Evolución del índice de área foliar promedio por tratamiento	38
12. Superficie foliar promedio por tratamiento en enero	39
13. Número de capas de hojas promedio en enero	40
14. Porcentaje de racimos internos promedio en enero.....	41
15. Peso de poda (kg) por planta promedio	42
16. Evolución de potencial hídrico foliar de base promedio	43
17. Actividad fotosintética ($\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) promedio en enero	44
18. Conductancia estomática ($\text{mmol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) promedio en enero.....	45
19. Evolución del peso de baya promedio por tratamiento	46
20. Evolución de la concentración de azúcares en maduración (g/L)	47
21. Evolución de acidez total (g/H ₂ SO ₄) en maduración.....	48
22. Evolución del pH en maduración	49
23. Índice de Ravaz promedio	53

24. Relación superficie foliar/ rendimiento (m^2/kg) promedio	54
25. Análisis diagrama de componentes principales	55
26. Matriz de correlaciones entre variables evaluadas	56

1. INTRODUCCIÓN

La viticultura en Uruguay tiene una superficie cultivada de 5.991 ha distribuida en 1.213 viñedos. El 92 % de los viñedos están ubicados en la zona Sur del país, con un 88 % de la superficie total plantada en los departamentos de Canelones, Montevideo, Colonia y San José. La viticultura en el país se caracteriza por presentar un 97 % de viñedos de tamaño pequeño, de 0-20 ha y un 3 % de viñedos mayores a 20 ha. El 96 % de la producción de uva nacional se destina para la elaboración de vino, mientras que el 4% para consumo en fresco. El 10 % de la producción total de vino, está representado por vinos de calidad preferente (VCP) con envase de 0,75 L y el 90 % restante por vinos de mesa, en sus diferentes presentaciones de envases de 1,0 L, 2 L, 3.5 L y damajuanas de 10 L, etc. (INAVI, 2021). Las condiciones de cultivo se desarrollan principalmente en secano, representando un 72 % de la superficie total y 28 % restante con riego.¹ Tannat es la variedad tinta predominante en la mayor parte del territorio nacional representando el 27 % de la superficie total (INAVI, 2021).

El régimen de precipitaciones en Uruguay es isohigro, con una distribución de lluvias uniforme a lo largo del año, con registros de 1.200 mm anuales aproximadamente. Las condiciones climáticas del país se caracterizan por una marcada variabilidad interanual, con tendencias a eventos extremos en cortos períodos de tiempo como ser: lluvias intensas, mayor probabilidad de granizos y temperaturas que van en aumento, causados en un contexto del cambio climático (Fourment et al., 2013). Es en este escenario que se vienen proponiendo e implementando en el sector, nuevas herramientas tecnológicas como, el riego o el uso de nylon en cobertura, para afrontar o mitigar esa variabilidad hídrica. El costo de implementación de estos paquetes tecnológicos, requieren de inversión y conocimiento, siendo más viable su adquisición para aquellas empresas con mayor capital. La disponibilidad hídrica, déficit o exceso, afecta el desarrollo de la planta, determinando su expresión vegetativa como productiva, definiendo a su vez, la composición y la sanidad de la baya, por lo que es de suma importancia conocer y atender los requerimientos hídricos, en función del producto a obtener.

En un viñedo comercial puede existir heterogeneidad a nivel de parcela en cuanto al vigor de las plantas, producto de diferentes características del suelo que determinan variaciones, por ejemplo, en su disponibilidad hídrica y

¹Merino, N. 2021.Com. personal.

nutricional, entre otros factores. Esa heterogeneidad puede verse reflejada en la expresión vegetativa de las mismas, en su estado sanitario, rendimiento, etc. e incidir en la composición de la uva. Esa variabilidad espacial del vigor, presente en una parcela, puede ser medido y evaluado mediante el uso de sensores remotos como las cámaras multi-espectrales, que proporcionan un índice de vegetación de diferencia normalizada (NDVI), a través de relaciones entre el rojo y rojo lejano (R/RL). El índice NDVI está fuertemente relacionado con el estado de desarrollo del cultivo y proporciona información del mismo, siendo una herramienta muy útil para definir y/o delimitar áreas con diferente vigor y así poder gestionar de la mejor manera una parcela (Ferrer et al., 2019).

1.1. OBJETIVOS

1.1.1. Objetivo general

Evaluar a nivel de parcela, el efecto de la disponibilidad hídrica en dos situaciones de vigor en *Vitis vinifera* cv Tannat L. evaluado sobre los componentes vegetativos, productivos y la composición de la uva.

1.1.2. Objetivos específicos

En función del vigor evaluar el efecto de técnicas de cultivo (restricción o aportes hídricos) sobre:

1. el crecimiento vegetativo (desarrollo vegetativo) frente al aporte hídrico durante el ciclo de crecimiento del cultivo.
2. los factores micro - climáticos de la canopia (temperatura, luminosidad y HR).
3. la disponibilidad hídrica, sobre la evolución de los componentes químicos de la baya.
4. el rendimiento y sus componentes.

2. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

2.1. CICLO ANUAL

La vid es un frutal semi-leñoso perenne con un ciclo anual caducifolio, que involucra un crecimiento vegetativo y reproductivo a la vez (Fregoni, 1987). El ciclo anual de la planta de vid incluye cinco etapas y se representa por diferentes estados fenológicos según escala Eichhorn y Lorenz del año 1977, modificada por Coombe (1995). En dicho ciclo se pueden distinguir las siguientes etapas fenológicas de crecimiento: la primer etapa- desarrollo y crecimiento vegetativo y de inflorescencias (No. 1-18 E-L), la segunda-período de floración (No. 19-26 E-L), la tercera- período de desarrollo de la baya (No. 27-33 E-L), la cuarta- período de maduración de la baya (No. 34-39 E-L) y finalmente- entrada en reposo de la planta (No. 41-47 E-L). Las etapas fenológicas tienen requerimientos climáticos, hídricos y nutricionales específicos, determinando la duración y desarrollo de las mismas.

2.1.1. Crecimiento vegetativo

El ciclo anual comienza con la brotación en primavera, a partir del nivel de reservas acumuladas en tronco y raíces, así como también de factores ambientales como, la temperatura y la disponibilidad hídrica (Winkler, 1965). La planta requiere de temperaturas por encima de 10 ° C para iniciar la brotación (Puoget 1967, Smart y Robinson 1991, Malheiro et al. 2010, Keller 2015). En esta primera etapa se establece la superficie foliar a partir de un crecimiento acelerado de los pámpanos y las hojas, definiéndose la fuente, productora de fotoasimilados. Le sigue un período que incluye la floración, definiéndose a partir del cuajado, el número de bayas, iniciándose el crecimiento y desarrollo de las mismas. La etapa que le sigue se corresponde con la evolución de los compuestos químicos, y finaliza con la madurez tecnológica, determinado según el objetivo productivo, los parámetros para cosechar la uva. Se ha reportado para el Sur del país y en la variedad Tannat que la fecha de cosecha ocurre en los primeros días del mes de marzo (Ferrer et al., 2009). El ciclo anual del cultivo finaliza con la caída de las hojas, con la entrada del receso invernal de la planta (Smart y Robinson 1991, Keller 2015).

2.1.1.1. Crecimiento de pámpanos y feminelas

El crecimiento de pámpanos se representa por una curva sigmoide. Este crecimiento es acelerado al principio y hasta la floración, momento en que las inflorescencias pasan a ser fosas demandantes de fotoasimilados, generándose una competencia momentánea con los puntos de crecimiento de los pámpanos (Williams et al., 1987). El crecimiento vegetativo durante el primer período, compite por fotoasimilados con los racimos y las bayas en desarrollo. En envero las bayas pasan a ser grandes fosas demandantes de fotoasimilados hasta la cosecha, siendo ideal que se establezca la expresión máxima de superficie foliar previo a envero y así, enlentecer o reducir la competencia entre los pámpanos, feminelas y las bayas, priorizando éstas últimas. Sin embargo, esto dependerá del vigor de la planta y de las condiciones del medio que favorezcan o no el crecimiento vegetativo, como por ejemplo las hídricas (Carbonneau et al. 1987, Smart y Robinson 1991, Carbonneau et al. 2020).

Las feminelas corresponden al crecimiento vegetativo secundario, cobrando mayor importancia desde envero en adelante, por tratarse de la principal fuente de fotoasimilados para los racimos durante la etapa de maduración. Las hojas de las feminelas pueden significar un porcentaje importante del área foliar de la canopia, presentando una alta tasa de asimilación de CO₂ y contribuyendo de manera importante a la producción de fotoasimilados en la etapa tardía del ciclo, siendo exportado hacia los racimos (Palliotti et al., 2000). Esto se explica porque las hojas de las feminelas al ser más jóvenes que las de los pámpanos principales, al momento del envero y durante la maduración, logran una mayor actividad fotosintética, además de estar más ligadas al racimo (Vasconcelos y Castagnoli 2000, Hunter et al. 2004).

2.1.1.2. Superficie foliar

La cobertura vegetal del viñedo está constituida por las características geométricas de la superficie foliar. La interacción entre la superficie foliar (SF) y el medio, determinan el microclima de la zona del racimo. La cobertura vegetal es eficiente cuando se establece un equilibrio entre la intercepción y distribución adecuada de la luz dentro de la canopia, y a su vez, hay una partición de la materia seca entre los racimos y los pámpanos (Poni, 2008).

Una mayor superficie foliar está asociada a una mayor capacidad fotosintética de la vid, sin embargo, a medida que aumenta la superficie foliar también aumenta su densidad foliar, lo que conlleva a un microclima perjudicial en la zona de racimos. Esto a su vez, se asocia a una menor tasa fotosintética de las hojas interiores de la canopia, debido a una baja iluminación recibida

(Smart 1973, Schneider 1989). Trabajos reportados por Smart (1985), Schneider (1989) estiman que entre un 81-91 % de la fotosíntesis global de la planta se debe a la actividad de las hojas exteriores de la canopia.

Plantas con poca área expuesta presentan numerosas hojas interiores que están sombreadas, siendo inefficientes en la producción de fotoasimilados para ser exportados y utilizados para el crecimiento vegetativo y la maduración de la baya (Keller 2007, Carbonneau et al. 2007, 2020). En plantas que presentan un vigor alto, mayor es su SF. Carbonneau (2007, 2020) reporta que una SF óptima para sistema de conducción en espaldera, se encuentra en el rango de 4.000 a 5.000 m²/ha. Según Kliewer y Dokoozlian (2005) para un sistema de conducción en espaldera, la relación superficie foliar/rendimiento (SF/rend), requerida para un nivel máximo de sólidos solubles totales, peso y coloración de las bayas esta entre valores de 0,8 a 1,2 m²/kg. Por otro lado, Baeza et al. (1999) estiman valores de 0,63 en la relación SF/rend, con valores óptimos de IAF de 2,95.

2.1.2. Crecimiento y composición de la baya

2.1.2.1. Desarrollo y tamaño de la baya

La baya es un fruto carnoso no climatérico, formado por las semillas y tres capas de tejido: el exocarpo o piel, el mesocarpo conocido como pulpa y el endocarpo, que es el tejido que rodea a la semilla (Conde et al. 2007, Kuhn et al. 2013). Presenta un crecimiento y desarrollo representado por una curva doble sigmoidea, con dos fases de crecimiento separadas por una fase estacionaria (Farias 2004, Conde 2007). La primera fase ocurre desde cuajado hasta el envero (29-36 E-L), predominando los procesos de división y multiplicación celular. La duración de esta etapa es de 25 a 45 días aproximadamente en función de la variedad (Fregoni 1987, 1999). En la misma, la baya presenta una textura firme, es de color verde por la presencia de clorofila en el hollejo, permitiéndole fotosintetizar y contribuir con su propio crecimiento; es en este momento donde la baya aumenta de tamaño en volumen y peso (Conde et al., 2007). El aumento de volumen es inicialmente muy rápido, pero se ralentiza progresivamente hacia la madurez del fruto. En esta primera fase el flujo de agua y fotoasimilados se dan principalmente vía xilema (Keller, 2015). A su vez, ocurre la síntesis y acumulación de solutos principalmente ácidos orgánicos, taninos, aminoácidos, micronutrientes y compuestos aromáticos, siendo el contenido de azúcares relativamente bajo en esta primera fase (Fregoni 1987, Coombe 1992, Fregoni 1999, Kennedy 2000, Dokoozlian 2002, Conde et al. 2007). Luego, le sigue la

fase II que implica una etapa estacionaria del crecimiento, que dura entre 2 y 4 semanas, caracterizándose por el desarrollo y la madurez de la semilla, alcanzando el tamaño definitivo. En instancias finales de esta fase comienza el ablandamiento celular de las paredes celulares de la baya, perdiendo turgencia (Fregoni 1987, 1999), proceso denominado envero. A partir de allí, comienza la etapa de maduración y es cuando en el fruto la clorofila disminuye y el hollejo comienza a cambiar de color, virando a tonos violetas oscuros en variedades tintas, por la acumulación de antocianos (Fregoni 1987, Coombe 1992, Fregoni 1999). Hasta este momento se alcanza el máximo nivel de ácidos orgánicos en la baya (ácido tartárico y málico principalmente).

El segundo período de crecimiento de la baya incluye la maduración y está comprendido entre envero y cosecha, con una duración de aproximadamente 50 días. El tamaño de la baya puede estabilizarse o disminuir debido a la pérdida de agua por deshidratación durante las últimas etapas de la maduración (Keller, 2015). En esta etapa se reanuda el crecimiento del grano por agrandamiento celular, como consecuencia aumenta el volumen de la baya acumulándose azúcares y agua (Blouin y Guimberteau 2000, Keller 2015). En esta etapa la importación de agua es a través del floema que aumenta su flujo rápidamente y la importación de agua a través del xilema disminuye (Keller, 2015). Es aquí donde ocurren ciertos cambios drásticos en la composición de la baya, pasando de ser pequeña, firme, ácida y con poco azúcar a un tamaño más grande, comienza a ablandarse, y aumenta su contenido de azúcares y coloración, con pérdida de acidez. El sabor proviene principalmente del equilibrio ácido- azúcar y de la síntesis de compuestos aromáticos (Figura 1, Conde et al., 2007). Además del agua y la temperatura, hay otros factores esenciales para una correcta maduración de la baya como ser, la arquitectura de la planta, el equilibrio entre la superficie foliar y la producción, y las prácticas culturales como lo son la fertilización, intervención en verde, el riego entre otras (Deloire et al. 2006, Etchebarne et al. 2010).

Al ser la baya un fruto no climatérico el control del inicio de la maduración se debe a múltiples señales hormonales incluyendo el ABA y la acumulación de azúcares (Deloire 2010, Keller 2010, Kuhn et al. 2013). El ABA es una molécula de señalización que participa de procesos de biosíntesis de metabolitos primarios, y metabolitos secundarios de la uva, sobre todo de la producción de antocianos en la piel (Peppi et al. 2007, Antolín et al. 2008). Simultáneamente regula la apertura estomática y la transpiración, en respuesta a condiciones hídricas deficitarias (Owen et al., 2009).

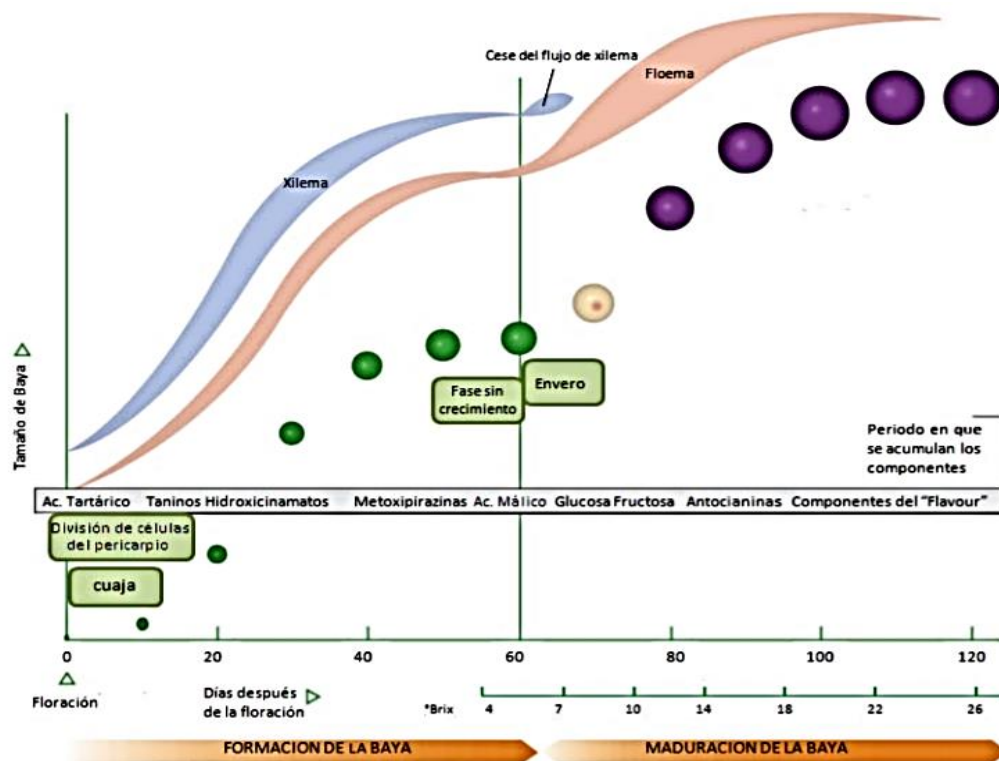


Figura 1. Curva de crecimiento y desarrollo de la baya

Fuente: Kennedy (2002).

2.1.2.2. Composición química primaria de la baya

Los sólidos solubles conforman uno de los componentes de mayor abundancia en el mosto (González-Neves et al., 2003). Son el resultado directo de la fotosíntesis y su concentración en la baya aumenta a partir de envero principalmente por la movilización de sacarosa desde las hojas y sitios de reserva hacia las bayas (Coombe 1973, Keller 2007). El azúcar se transporta de las hojas a la baya a través del floema en forma de sacarosa. Una vez en la baya, se convierte en glucosa y fructosa, la proporción entre ellos es de 1: 1 durante la maduración. El contenido de sólidos solubles totales está directamente relacionado con actividad fotosintética de las hojas (Baeza et al., 2019).

La acidez de la baya está dada principalmente por los ácidos tartárico, málico y cítrico. El tartárico es el ácido característico de la uva y además el

responsable de influir mayoritariamente en el pH del mosto (Ribéreau-Gayón y Peynaud, 2001). La síntesis de estos ácidos ocurre en las hojas y bayas jóvenes por metabolización de azúcares, pero durante la maduración de la baya, su evolución es diferente. El ácido tartárico permanece estable, mientras que el ácido málico se utiliza como sustrato de la respiración, provocando una disminución del mismo y por lo tanto de la acidez a lo largo de la maduración (Coombe 1987, Ribéreau-Gayón y Peynaud 2001, Keller 2015).

El pH aumenta en el transcurso de la maduración, por un efecto de disminución de los ácidos orgánicos presentes en la uva (Andrades, 1990). El potasio es el principal catión encargado de neutralizar los ácidos orgánicos presentes en la uva. Los factores que generen estrés en la planta reducen la producción de sacarosa y la producción de ácidos orgánicos, por lo que se ve estimulado el transporte de potasio hacia la baya, de forma que se aumenta el pH y se retrasa la maduración (Possner y Kleiwer 1985, Rogiers et al. 2000). Algunos de estos factores son, temperaturas muy altas o bajas, estrés hídrico, entre otras (Possner y Kleiwer, 1985).

Existen parámetros de estos compuestos que determinan la madurez tecnológica de la uva, definiendo el momento de cosecha. Según lo reportado por González-Neves et al. (2003, 2005, 2012) lo máximo alcanzado por Tannat son valores de 3,30-3,58 de pH, 4,0-5,0 g H₂SO₄/L de acidez titulable y contenido de azúcares mayores a 215 g.

2.1.2.3. Composición química secundaria de la baya

Los polifenoles son compuestos responsables de los atributos sensoriales de los vinos (Ribéreau Gayón y Peynaud 2001, González-Neves et al. 2004, Keller 2007). Se ubican principalmente en la piel de las bayas, con una concentración muy baja en la pulpa, salvo variedades tintoreras que presentan la pulpa con contenidos de antocianos (González-Neves 1999, Reynier 2002). La concentración de polifenoles aumenta a partir del envero, favorecida por un crecimiento vegetativo moderado de la baya, con buena luminosidad y temperatura (Price et al., 1995). Los taninos son un grupo de compuestos polifenólicos responsables de la astringencia en el vino, formándose a partir de floración y aumentando progresivamente hasta el envero, se acumula durante la maduración en la piel y semillas de la baya. El contenido de taninos en la semilla alcanza un máximo en envero y luego permanece estable durante la maduración (Kennedy et al., 2000).

2.1.3. Respuesta fisiológica de la planta

2.1.3.1. Fotosíntesis y conductancia estomática

La fotosíntesis es un proceso químico donde la energía solar es usada por los tejidos verdes de la planta para convertir el dióxido de carbono (CO_2) de la atmósfera en azúcares (Smart y Robinson, 1991). La luz, la temperatura, el agua, el CO_2 , la edad de las hojas y la genética de la planta son los factores que tienen mayor influencia en la fotosíntesis.

Si la radiación total que incide sobre la planta es menor de 1,5 % los estomas comienzan a cerrarse, reduciendo la entrada de CO_2 . Al aumentar la intensidad lumínica la fotosíntesis aumenta hasta el nivel de saturación lumínica de $1.200 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ (Smart y Robinson 1991, Aleixandre et al. 2013, Zufferey 2018, Carbonneau et al. 2020). Con niveles menores a $800 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ el proceso de fotosíntesis es muy bajo o no ocurre (Carbonneau et al., 2020).

La edad de las hojas tiene influencia en la tasa fotosintética, aumentando con la edad de las mismas hasta un máximo aproximadamente de 5 a 6 semanas después de que emerge la hoja, para luego disminuir gradualmente hasta la senescencia (Aleixandre et al. 2013, Keller 2015). Las hojas interiores de la canopia tienen bajo nivel de fotosíntesis, ya que la intensidad lumínica es baja, haciendo ineficiente la contribución de producción de foto asimilados. Varios estudios han demostrado que la parte exterior de la canopia contribuye más a la fotosíntesis en una canopia densa (Smart y Robinson 1991, Carbonneau 1996).

La apertura y cierre de estomas es afectado por la luminosidad, comenzando a abrirse con niveles bajos de luz, luego del amanecer y lo hacen completamente con $200 \mu\text{Em}^{-2}\text{s}^{-1}$ PAR (radiación fotosintéticamente activa). La apertura y cierre estomático está controlado por la transpiración de las hojas, la cual está estrechamente ligada a factores climáticos como, la radiación, la temperatura y disponibilidad hídrica (Simonneau et al., 2017). En cuanto a la disposición de las hojas en la canopia, las hojas exteriores, al estar expuestas a altos niveles de luz y temperatura, transpiran más que las interiores, ya que a éstas les llega bajos niveles de luz y sus estomas no se abren completamente (Smart y Robinson 1991, 1995, Keller 2015).

Por otro lado, los valores de humedad del suelo entorno al umbral crítico ($-1,5 \text{ MPa}$) inciden directamente en el potencial hídrico foliar y como consecuencia aumenta la resistencia estomática de las hojas (Carbonneau et al., 2020). Los estomas se cierran cuando la planta no logra suministrar el agua suficiente para cubrir la demanda de transpiración (Winkler 1974, Smart y

Robinson 1991). Al existir un déficit hídrico, ocurre un cierre progresivo de estomas y con ello se reducen los procesos de intercambio gaseoso (fotosíntesis y transpiración), existiendo además una alta correlación entre la conductancia estomática y la fotosíntesis neta (Naor y Wample, 1994).

2.2. FACTORES CLIMÁTICOS

La vid es caracterizada por su sensibilidad a los factores del clima. Requiere condiciones climáticas específicas que influyen en el crecimiento vegetativo, productivo y en la composición química de la baya (Jackson y Lombard 1993, Mira de Orduña 2010).

2.2.1. Incidencia de la temperatura y la luz durante el crecimiento vegetativo

La vid puede soportar temperaturas muy bajas en invierno, pero al comienzo de la brotación, éstas pueden dañar los brotes y hojas jóvenes en desarrollo (Malheiro et al., 2010). El crecimiento vegetativo normalmente se acelera con el aumento de la temperatura hasta alcanzar un óptimo de 25- 30 ° C, se ralentiza a medida que la temperatura aumenta y cesa aproximadamente a los 35- 38 ° C (Keller, 2015).

La luz solar tiene una gran influencia en el funcionamiento de la planta de vid, siendo un factor que condiciona el crecimiento de la planta y la maduración de las bayas. La vid requiere 1.200 horas luz en todo el período vegetativo (Smart y Robinson, 1945), siendo fundamental para la fotosíntesis y la producción de foto asimilados destinados en un inicio al crecimiento de la canopia, luego hacia los racimos y la acumulación de reservas. La luz junto con la temperatura, ejercen un efecto sobre la transpiración de las hojas y como consecuencia en el estado hídrico de la planta (Keller, 2015).

2.2.2. Incidencia de la temperatura y la luz durante la maduración de la baya

El peso de la baya varía en función de la exposición a la luz y la temperatura. Desde cuajado a envero, temperaturas elevadas y una exposición directa a la radiación promueven el crecimiento de la baya (Jones y Davis, 2000). Por otro lado, una radiación solar alta conlleva a que la temperatura aumente disminuyendo el peso por deshidratación (Kliwer, 1970).

La temperatura diurna óptima en maduración oscila entre los 25-30 ° C, a su vez la radiación es fundamental en la composición de la uva, los sólidos solubles, antocianos, fenoles, acidez, peso y aroma (Bergqvist et al. 2001, Spayd et al. 2002, Mori et al. 2007). En cuanto a los sólidos solubles factores como la temperatura y la radiación solar, afectan su producción. Temperaturas mayores a 37 ° C podrían limitar la fotosíntesis y, por lo tanto, el azúcar acumulado en la baya al momento de la cosecha (Ferrer et al., 2020).

Los niveles óptimos de acidez requieren una amplitud térmica de 16/25 ° C entre la noche y el día (Hunter y Bonnardot 2011, Ferrer et al. 2017). La degradación de ácido málico está fuertemente afectada por temperaturas altas, mayores a 30 ° C que conllevan a una mayor disminución de la acidez (Catania et al., 2007).

Las temperaturas elevadas inciden negativamente en la síntesis de polifenoles (González-Neves et al., 2010). La temperatura es el factor más importante en determinar la coloración de las uvas. En regiones templadas la coloración mejora al aumentar la diferencia entre las temperaturas nocturnas y diurnas. Existe un intervalo óptimo para el desarrollo del color comprendido entre los 15 ° C y 25 ° C (Martínez de Toda 2007, Ferrer et al. 2017). A temperaturas superiores a 35 ° C se inhibe la formación de antocianos (Mori et al., 2007), siendo mayor la coloración a temperaturas diurnas/nocturnas de 20°/15 ° C (Kliewer y Torres, 1972). Una mayor exposición a la radiación solar conlleva a mayor temperatura influyendo en la acumulación de antocianos, la exposición estimula su acumulación mientras que temperaturas altas la inhiben (Bergqvist et al. 2001, Ferrer et al. 2011).

2.2.3. Componente hídrico

El agua en la vid es un elemento fundamental para el crecimiento vegetativo y el proceso reproductivo. La evolución del estado hídrico del viñedo influye en la calidad de la cosecha ya sea por la evolución química de los componentes de la baya, como por el estado sanitario (Van Leeuwen y Vivin 2008, Coulon-Leroy et al. 2014).

Existen reportes de requerimientos hídricos mínimos durante el ciclo de crecimiento la vid de 450-550 mm (Deloire y Pellegrino, 2021). En Uruguay, estudios previos de disponibilidad de agua para la zona Sur (Canelones), a partir de registros meteorológicos y en base a una serie histórica de 21 años (1999-2019) durante el ciclo de crecimiento de la vid (setiembre-marzo), reportan acumulados de 703 mm en promedio. Los mismos se distribuyen de la siguiente

manera: 107 mm durante el período brotación- floración, 96 mm en floración- envero y 123 mm de envero a cosecha.²

El déficit hídrico del suelo es un estrés abiótico importante que afecta directamente el desarrollo y la productividad de los cultivos (Van Leeuwen y Vivin, 2008). Sus efectos pueden ser extremadamente dañinos, ya que los procesos metabólicos de las plantas, por ejemplo la expansión de la pared celular y el control de la apertura de los estomas, responden fuertemente al déficit de agua del suelo (Hsiao, 1973). A nivel de toda la planta, tales respuestas se consideran mecanismos de adaptación a la sequía, ya que permiten que la planta varíe el flujo de agua y su superficie de evaporación en función del agua disponible en el suelo. En la mayoría de los viñedos, el manejo del déficit hídrico mediante prácticas de preparación del suelo, selección portainjertos o la presencia de cultivos de cobertura, son utilizados para manipular el vigor de los brotes y las características de la cobertura vegetal (Lebon et al., 2006).

Para caracterizar el estatus hídrico de las plantas a nivel de viñedo se utilizan mediciones del potencial hídrico foliar de base, utilizando una cámara de presión (Scholander et al. 1965, Deloire et al. 2006, Van Leeuwen y Vivin 2008, Simonneau et al. 2017). El potencial hídrico foliar de base permite establecer umbrales de referencia y se mide antes de la salida del sol, cuando los estomas aún están cerrados y la planta logra equilibrar su estado hídrico con la reserva de agua en el suelo. Este potencial indica el estado hídrico real de la planta en un momento fenológico determinado (Deloire et al., 2006).

Cuadro 1. Umbrales hídricos foliares de base y posibles consecuencias en el funcionamiento de la vid

Ψ_b (bares)	Crecimiento vegetativo	Crecimiento de la baya	Fotosíntesis	Maduración de la uva
0 a - 3	normal	normal	normal	normal
-3 a -5	reducido	normal a reducido	normal a reducido	normal o estimulada
-6 a -9	reducido a inhibido	reducido a inhibido	reducido a inhibido	reducida a inhibida
< -9	inhibido	inhibido	inhibición parcial o total	inhibición parcial o total

Fuente: Bernard et al. (2004).

²Fourment, M. 2019. Variabilidad climática para la vid. In: Jornada de Divulgación (2019, Canelones). Resultados de investigación Facultad de Agronomía. s.p. (sin publicar).

2.3. VIGOR

Dentro del desarrollo anual de la vid se dan dos procesos fundamentales como lo son la brotación y el crecimiento y maduración de las bayas. Estos están influenciados por el vigor de la planta, ya que dependiendo de este puede darse un solapamiento en estos procesos afectando su duración (Poni, 2008).

Existen varios factores que influyen y determinan el vigor de la vid, dentro de ellos se encuentran el tipo de suelo, el portainjertos, la variedad, marco de plantación (distancia entre plantas y entre filas), número de yemas por pámpano, sistema de conducción, poda, nutrientes y disponibilidad hídrica (Poni 2008, Filippetti et al. 2012). En el contexto del cambio climático, en donde hay un aumento de las temperaturas y la escasez de agua amenaza la sustentabilidad de la viticultura (Simonneau et al., 2017) el uso de irrigación se ha convertido en una práctica de manejo fundamental para regular el crecimiento de la vid y por lo tanto, incidir en su vigor (Jones et al. 2005, Poni 2008).

El vigor puede evaluarse de varias maneras, mediante mediciones de campo (diámetro de tronco, superficie foliar, peso de poda), por teledetección (NDVI), entre otras (Pereyra et al., 2019). La variabilidad espacial del vigor de las plantas en un viñedo puede evaluarse mediante cámaras multispectrales acopladas a vehículos aéreos remotos, que pueden cubrir toda la superficie del viñedo y obtener índices espectrales de vegetación. El índice vegetativo diferencial normalizado (NDVI) permite cuantificar el crecimiento del cultivo, siendo uno de los índices más utilizados. El uso de mapas de NDVI han servido para determinaciones espaciales de productividad y de expresión vegetativa y poder realizar cosechas diferenciales (Echevarría et al. 2010, Filippetti et al. 2012, Bonilla et al. 2015, Junges et al. 2017, Ozdemir et al. 2017, Oldoni et al. 2020). Este índice se estima al relacionar las longitudes de onda del rojo y del rojo lejano. Además, está fuertemente asociado con el estado de desarrollo del cultivo y ha sido ampliamente utilizado para definir áreas con diferente vigor dentro de un viñedo (Filippetti et al. 2012, Ferrer et al. 2019, Oldini et al. 2020).

Según Ferrer et al. (2011), Filippetti et al. (2012) las diferencias en términos de vigor tienen influencia sobre el contenido y acumulación diaria de azúcares. En general a mayor vigor la acumulación de azúcares en la baya disminuye, debido a la competencia con el crecimiento vegetativo. Según Keller (2007), las plantas con un vigor excesivo presentan una menor exposición de los racimos, y como consecuencia, una menor acumulación de sólidos solubles y mayor peso de baya, respecto a aquellas con menor vigor (Santibáñez 2004, Cortell et al. 2006). En plantas con vigor alto presentan un mayor sombreado de

los racimos y la tasa respiratoria es menor, siendo el consumo de ácidos también y por lo tanto el pH será menor, pero la acidez total es mayor en comparación a plantas de vigor bajo (Santibáñez 2004, Filippetti et al. 2012). Por otro lado, en plantas con un vigor menor que presentan una canopia más expuesta a la radiación solar y mayor es el consumo de los ácidos orgánicos.

2.3.1. Vigor y disponibilidad hídrica

La gestión del aporte de agua se debe decidir según el objetivo de producción definido previamente. Cuando el agua no es una limitante en todo el ciclo provoca un elevado crecimiento vegetativo y como consecuencia un alto vigor. El rendimiento aumenta pero las concentraciones de azúcares, ácidos orgánicos y compuestos fenólicos son más menores debido a la competencia por el uso de asimilados entre los racimos y hojas en crecimiento, además de un efecto de dilución en las bayas (Lakso y Pool 2005, Deloire et al. 2006, Etcheberne et al. 2010, Simonneau et al. 2017). Los racimos son más compactos causando problemas de enfermedades principalmente hongos, y una mala exposición a la luz (Lakso y Pool 2005, Deloire 2006). Por tanto, la ausencia de un estrés hídrico tiene un impacto negativo en la calidad de los vinos (Cortell et al. 2005, Deloire et al. 2006). Cuando la demanda hídrica de la atmósfera es mayor que la capacidad de las raíces para satisfacer esta demanda por agua, la planta sufre un estrés hídrico induciendo una serie de procesos fisiológicos que determinan, por un lado, una reducción de la transpiración y a su vez una redistribución del agua desde los frutos a la parte vegetativa. Esto dependerá de la intensidad del estrés hídrico y del estado fenológico en que se aplique (Farias 2004, Deloire y Pellegrino 2021). Una restricción de agua afecta la acumulación de azúcares y antocianos en la baya, la acidez de la uva disminuye y los compuestos asociados a la calidad aumentan (Farias et al. 2004, Deloire et al. 2006, Van Leeuwen y Vivin 2008). Un estrés hídrico muy fuerte disminuye el tamaño de baya, como consecuencia una mayor concentración de compuestos en esta (Ojeda et al. 2002, Lakso y Pool 2005). Además, el rendimiento disminuye por una reducción en el peso de la baya, así como también el peso de poda y la superficie foliar (Farias et al. 2004, Deloire et al. 2006, Simonneau et al. 2017, Baeza et al. 2019).

Se considera ideal para una producción de calidad tener una restricción hídrica moderada, y dependiendo del momento fenológico en que esta ocurra determinará la respuesta fisiológica, como se detalla a continuación (Ojeda et al. 2002, Girona et al. 2009).

Brotación - floración: el crecimiento los brotes depende de las reservas de nutrientes (principalmente carbohidratos y proteínas o aminoácidos) almacenados en la estructura permanente de la planta, hasta que las nuevas hojas se vuelven fotosintéticamente activas y comienzan a producir y exportar carbohidratos. Estas reservas se agotan alcanzando un mínimo alrededor de la época de floración o incluso más tarde, lo que hace que la vid sea vulnerable al estrés en el momento de la floración (Zapata et al. 2004, Lebon et al. 2008, Keller 2015). Por lo tanto, requiere absorción de agua por las raíces para permitir la emergencia de los brotes y también para la absorción de nutrientes disponibles en el suelo (Deloire y Pellegrino, 2021). Los brotes crecen rápidamente y es fundamental el desarrollo de la canopia para el proceso de fotosíntesis. Un estrés hídrico en floración produce una reducción en la disponibilidad de nutrientes a los tejidos en desarrollo, del cuajado y una disminución del número de células potenciales para la baya. El tamaño de la baya depende de las condiciones hídricas durante este período, un déficit hídrico en etapas tempranas del desarrollo limita la división y expansión celular (Ojeda et al. 2002, Ferrer et al. 2008, Bernard 2016). En esta primera etapa no debería existir un estrés hídrico o si existiera el mismo debería ser muy leve (en rangos de 0 a - 0,2 MPa). Además, este período es el más exigente en requerimientos hídricos en todo el crecimiento (Lakso y Pool 2005, Ferrer et al. 2017, Baeza et al. 2019, Carbonneau 2020).

Floración - envero: durante este período la canopia está en activo crecimiento. La exposición de los brotes a la radiación solar favorece el desarrollo de primordios de inflorescencias. En uvas para vino el riego se realiza en esta etapa para mantener la canopia en un tamaño adecuado permitiendo la maduración apropiada de la fruta, evitando el sombreado excesivo del racimo. Restricciones hídricas entre el cuajado de la baya y envero pueden perturbar el metabolismo de los taninos ya que estos se sintetizan antes del envero. Si la restricción sucede entre envero a cosecha no se ve afectada la síntesis de estos compuestos. Una restricción hídrica moderada iniciada precozmente podría reducir el tamaño de la baya aumentando la concentración final de polifenoles y aromas (Deloire et al. 2004, Lakso y Pool 2005). Entre cierre de racimo y envero un estrés hídrico medio y progresivo (-0,2 a -0,4 MPa) permite un control del vigor de la canopia, por lo que disminuye el tamaño de baya resultando de una mayor relación hollejo/ pulpa y un aumento de la concentración de metabolitos (Ojeda et al., 2007).

Envero - cosecha: el régimen hídrico juega un rol esencial sobre la maduración de la baya, condiciones de estrés hídrico moderado favorecen la acumulación de azúcares y metabolitos secundarios, además disminuye la acidez por reducción del crecimiento vegetativo. Luego de envero, el estrés hídrico es responsable del aumento del contenido polifenólico, lluvias en el

período de maduración están relacionadas negativamente con el contenido de antocianos, polifenoles totales y azúcares (Jones y Davis 2000, Coulon -Leroy et al. 2014, Ferrer et al. 2017). Cualquier período o nivel de restricción hídrica favorece la concentración de antocianos por la reducción del tamaño de la baya. En período envero - cosecha es favorable un estrés hídrico medio a fuerte (-0,4 a -0,6 MPa) provocando la detención del crecimiento vegetativo, reducción de la fotosíntesis, disminución del tamaño de baya, aumento °brix, estimulación de síntesis de antocianos y concentración de metabolitos (Deloire et al. 2004, 2006). Se debe controlar el estrés y regar para que este no siga aumentando. Si el estrés sigue en aumento (mayor a -0,6 MPa) la reducción de la fotosíntesis es mayor, además se produce una importante reducción en la acumulación de azúcares y se perturba la síntesis de antocianos. El metabolismo de los antocianos puede ser interrumpido por el estrés hídrico severo antes de envero o estimulado por un estrés hídrico moderado a severo luego de envero. Una restricción hídrica moderada a fuerte (-0,4 a -0,6 Mpa) y progresiva en la maduración es favorable para la biosíntesis de antocianos (Deloire et al., 2004).

Un estrés hídrico cercano al periodo de cosecha puede inducir a una deshidratación prematura de las bayas, sobretodo cuando existen condiciones de alta demanda atmosférica, asociado además a un riego deficiente o un desequilibrio del viñedo (Farias et al. 2004, Lakso y Pool 2005).

Dependiendo del objetivo comercial del viñedo será la estrategia de uso del agua a utilizar. En vinos de calidad, la estrategia es una restricción progresiva hacia el período de maduración, lo que conlleva a una disminución del tamaño de baya y por lo tanto de los rendimientos, además favorece la concentración de compuestos fenólicos, principalmente antocianos. También se puede llevar esta restricción de media a fuerte a partir de envero, asegurando un mayor control sobre el tamaño de la baya y un aumento significativo en la concentración de fenoles. En ningún caso es recomendable llevar la restricción hídrica a un nivel mayor de moderada a fuerte, ya que si esta situación es prologada en el tiempo puede ser desfavorable para la calidad de la uva e incluso para el viñedo (Figura 2, Deloire et al. 2004, Van Leeuwen y Vivin 2008).

Según Carbonneau (1996), Deloire et al. (2004), Ojeda et al. (2004) el crecimiento vegetativo es lo primero que se ve afectado cuando en la vid se presenta un estrés hídrico, el crecimiento de los brotes disminuye o se detiene cuando los niveles de restricción son aún más bajos. La sensibilidad al estrés hídrico depende del momento en el ciclo en el que se da. El crecimiento de los brotes y la primera fase de crecimiento de la baya son muy sensibles al estrés hídrico. La fotosíntesis tiene una sensibilidad menor y el crecimiento de las bayas luego del envero tiene una mayor resistencia que los procesos anteriores. Para lograr un buen desarrollo de la canopia con buena exposición a la luz y hojas

fotosintéticamente activas se requiere de un estrés hídrico intermedio (Lakso y Pool, 2005).

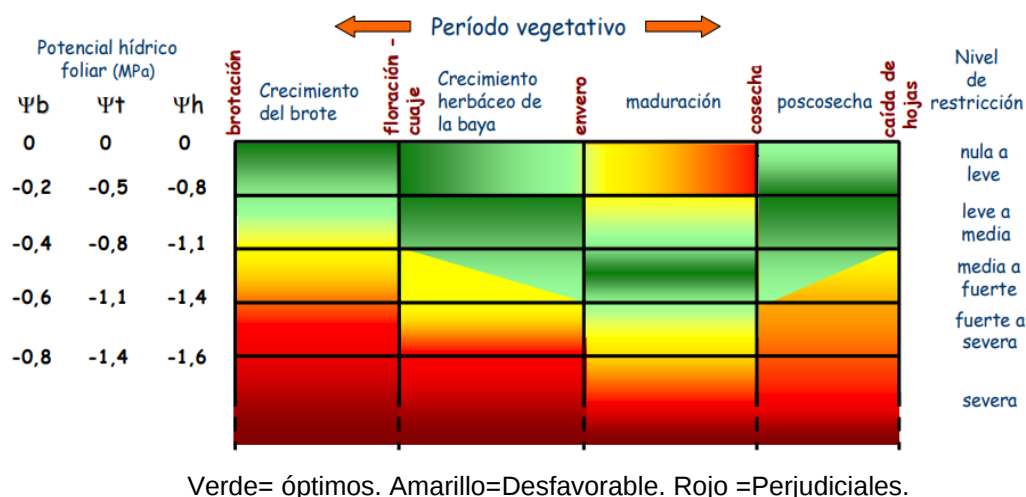


Figura 2. Estados hídricos

Fuente: Ojeda (2007).

2.4. CARACTERÍSTICAS TANNAT

El cultivar Tannat (*Vitis vinifera* L.) es originario de los bajos Pirineos, de la zona de Madiran, al Suroeste de Francia (Álvarez, 1909). Presenta una productividad alta de 16.187 kg/ha en promedio, ocupando una superficie total de 1.610 ha en el país (INAVI, 2021). Es una variedad vigorosa, con un ciclo medio alcanzando la madurez tecnológica a comienzos de marzo en el Sur del Uruguay. Los racimos son alargados, de forma cilíndrica y compactos, confiriéndole gran susceptibilidad frente al ataque de patógenos principalmente de *Botrytis cinerea* (Ferrer et al., 2003).

Presenta una buena aclimatación a las condiciones de cultivo a nivel nacional, manifestándose con una gran tipicidad (Ferrer et al., 2007), una buena síntesis y desarrollo de compuestos polifenólicos y azúcares optimizando su expresión enológica (González-Neves et al., 2006). Entre sus cualidades enológicas, comparada con otras variedades manifiesta, mayor peso de semillas,

peso de bayas (1,76 g), tenor de azúcares (230 g/L), acidez, polifenoles totales, antocianos, taninos de la piel y de semillas (Ferrer et al., 2014). También presenta, bajos valores de pH y baja extracción de antocianos, con una distinción notable en cuanto a composición fenólica, dadas por su riqueza fenólica entre 80-100 mg/L y potencial antociánico reportado entre 2000-3500 mg/L (González-Neves et al. 2005, 2011). Su concentración de antocianos frente a otras variedades es mayor, en donde el contenido de estos compuestos no depende del peso de la baya sino que esta estrechamente relacionado con la disponibilidad de agua de cada año (Ferrer et al., 2013).

Tannat tiene un comportamiento de tipo intermedio entre isohídrico y anisohídrico en cuanto a su respuesta frente a condiciones de deficiencia hídrica y el comportamiento y regulación de estomas (Pereyra, 2018).

2.5. HIPÓTESIS DEL ESTUDIO

Se establecen a partir de investigaciones previas que determinaron dos zonas de vigor contrastantes (alto y bajo) en la misma parcela de vid.

Considerando que el agua es un factor determinante del vigor, se parte del supuesto que a nivel de parcela hay una diferencia en cuanto a la disponibilidad hídrica. En la zona de alto vigor hay un excedente de agua y en la zona de bajo vigor el agua sería la limitante del crecimiento, se plantean las siguientes preguntas en este estudio:

- 1- ¿Cuál es la respuesta de la planta en la zona de alto vigor si se restringe el aporte de agua?
- 2- ¿Cuál es la respuesta de la planta en la zona de bajo vigor si se realiza un aporte razonado de agua durante todo el ciclo de crecimiento?

Para abordar estas incógnitas se consideraron las siguientes líneas de razonamiento:

- a. La disponibilidad hídrica del suelo es uno de los factores que condiciona la expresión vegetativa de la planta, su rendimiento, y el microclima de la canopia.
- b. La disponibilidad hídrica, junto con otros factores ambientales (temperatura, luminosidad y HR), influye en el desarrollo, volumen y composición de la baya.

- c. El aporte de agua a través de riego controlado en la zona de bajo vigor y la restricción de agua con la colocación de nylon en la zona de alto vigor durante la maduración, podrían uniformizar la composición de la uva en la parcela.

3. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. CONDICIONES GENERALES DEL ENSAYO

El ensayo se realizó en un viñedo comercial del Establecimiento Juanicó en km 35 de la ruta nacional No. 5 (34°36'44.6"S, 56°14'43.3"W) en el departamento de Canelones. Se llevó a cabo durante el ciclo productivo 2019-2020, en la variedad Tannat injertada sobre SO₄. Conducidas en espaldera con poda guyot, con dos cargadores y 8 yemas por cargador. La orientación de las filas es Norte- Sur. La parcela fue implantada en el año 1994, con una densidad de plantación de 2,5 x 1,2 lo que equivale a 3333 plantas/ ha, en condiciones de secano.

3.2. DISEÑO EXPERIMENTAL

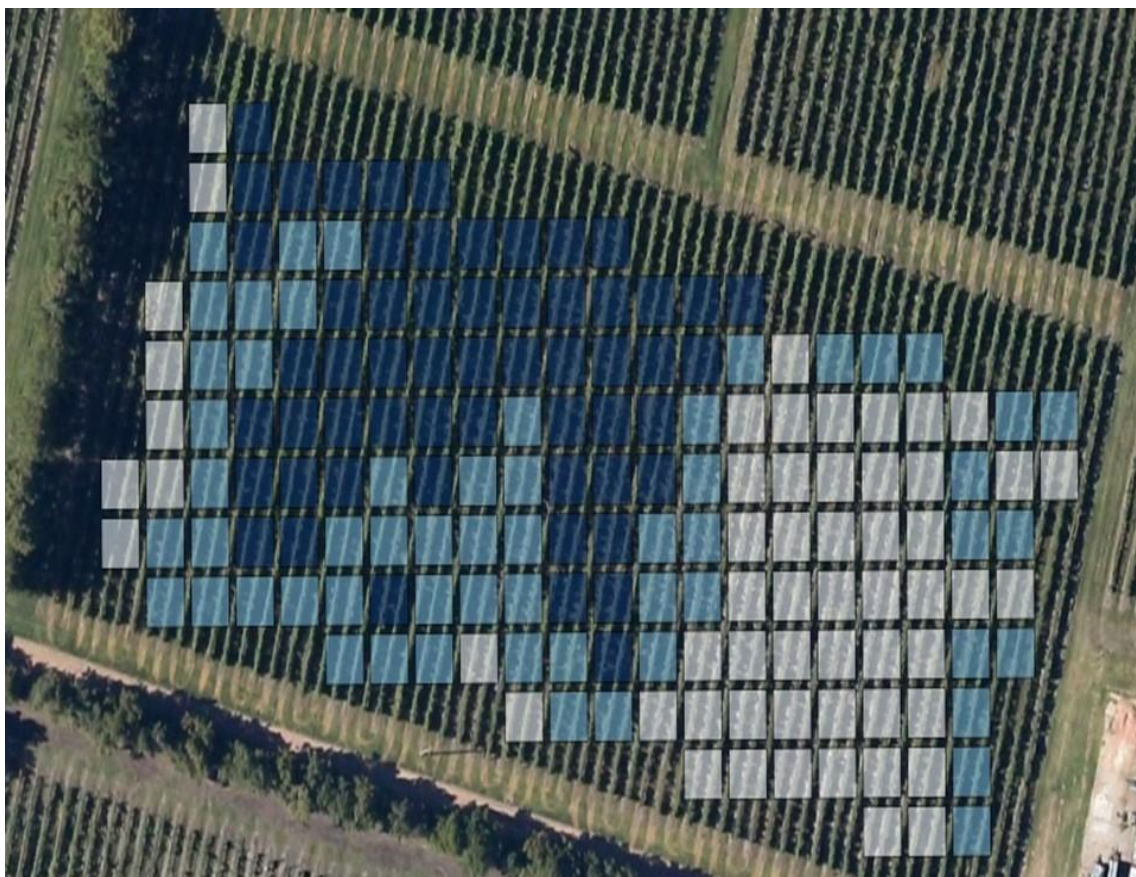
En la parcela general del ensayo se establecieron dos zonas de distinto vigor (alto y bajo) definidas mediante técnicas NDVI (índice de vegetación de diferencia normalizada, Ferrer et al., 2019). Es en base a ello que se definen dos tratamientos en cada zona (Figuras 3 y 4).

En la zona de alto vigor los tratamientos aplicados fueron:

- Testigo comercial (AT): con manejo estándar del productor en secano.
- Cobertura del suelo (ANY): cobertura de la fila y las entrefilas contiguas con polietileno blanco en ambas caras, de 220 micrones de espesor con tratamiento UV. El mismo fue colocado desde envero (E-L 35) (13 de enero 2020) hasta cosecha (E-L 38). El objetivo de esta técnica fue impedir la entrada de agua de lluvias, durante la etapa de maduración, al suelo y por lo tanto a la planta.

En la zona de bajo vigor los tratamientos fueron:

- Testigo comercial (BT): con manejo estándar del productor en secano.
- Aplicación de riego (BR): aporte de agua suplementaria, cuyo criterio fue mantener a la planta en un estrés hídrico moderado (75% de la ETP) desde floración (E-L 23) a cosecha (E-L 38). La lámina de riego aplicada se determinó a partir de mediciones de potencial hídrico de base semanales desde el estado 18 E-L, que junto con la demanda atmosférica (ET_o) se ajustó por el kc del cultivo según etapa fenológica, evaluándose también el estado hídrico de la planta a partir del cálculo de índice área foliar (IAF). El sistema de riego fue por goteo con abastecimiento del tanque por gravedad, con un caudal por gotero de 3,2 l/h y un total de 3 goteros por centro.

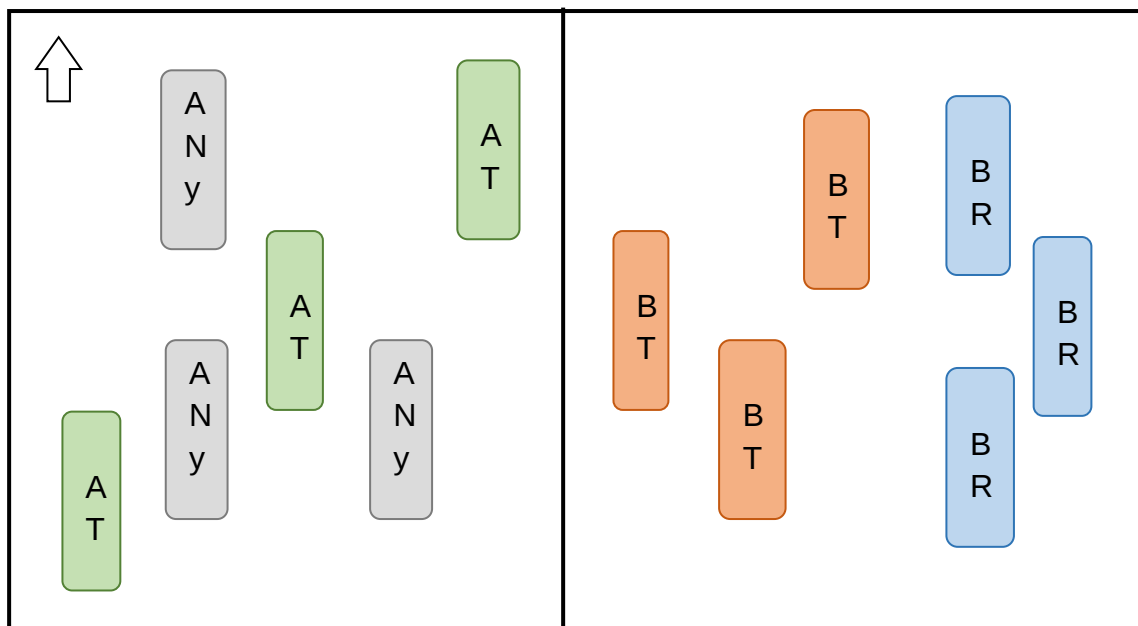


Azul= alto (0,57-0,61). Celeste= medio (0,55-0,57). Blanco= bajo (0,48-0,55).

Figura 3. Mapa de valores NDVI con las zonas de diferente vigor

Fuente: Ferrer et al. (2019).

El diseño experimental fue en bloques completamente al azar (DBCA), cada tratamiento contó con 3 repeticiones y la unidad experimental fue de 16 plantas, totalizando 48 plantas por tratamiento (Figura 4). Los datos se analizaron estadísticamente comparando los cuatro tratamientos evaluados a partir de análisis de varianza (ANAVA) con una significancia del 5 % y las medias con test de Tukey al 5 %. Para el procesamiento se utilizó el programa Infostat (versión libre del año 2014).



AT= alto testigo. ANy= alto nylon. BT= bajo testigo. BR= bajo riego.

Figura 4. Distribución de los tratamientos en la parcela experimental

Los manejos sanitarios, de fertilización y de cobertura en la entre fila fueron iguales en todos los tratamientos y demás plantas de la parcela. Se realizaron 5 cortes de pastera en la entrefila durante todo el ciclo del cultivo.

3.3. CARACTERÍSTICAS CLIMÁTICAS

3.3.1. Índices bioclimáticos de Canelones

Para caracterizar el clima vitícola de la zona, se calcularon índices bioclimáticos a partir de datos de la estación meteorológica del Instituto Nacional Investigación Agropecuaria INIA Las Brujas: precipitaciones, temperaturas medias, máximas, mínimas y humedad relativa.

Índice heliotérmico de Huglin (IH, Huglin y Schneider, 1998), mide la acumulación de calor recibido por la planta durante el período vegetativo (fotosintéticamente activa) para la síntesis de azúcares. La fórmula de cálculo:

$$IH = \sum \{(T_{med} - 10 + (T_{m\acute{a}x} - 10)) / 2 * k$$

Dónde, T med = temperatura media del aire (° C)

T máx= temperatura máxima del aire (° C)

k = coeficiente largo del día

Índice de frescor de noches (IF ° C, Tonietto, 1999) considera la temperatura mínima promedio del mes previo a cosecha, siendo un indicador de la síntesis de metabolitos secundarios, como los compuestos polifenólicos y aromas. Para las condiciones de Uruguay se toma la temperatura mínima del aire del mes de febrero.

Índice de Sequía (IS, Riou, 1994), considera la siguiente formula:

$$IS = W = W_0 + P - T_v - E_s$$

Dónde: W (mm) = estimación de la reserva hídrica del suelo en un período dado.

W₀ (mm) = reserva hídrica inicial útil del suelo, explorable por las raíces .130mm según Molino y Califa (2001)

P = pluviometría (mm)

T_v = transpiración potencial del viñedo

E_s = evaporación directa a partir del suelo T_v y E_s se calculan, mes a mes, por:

$$T_v = ETP \cdot k$$

ETP = evapotranspiración potencial (total mensual), calculada por el método de Penman; k = Coeficiente de absorción de radiación por la vegetación

E_s = JP/N. (1-k) ETPJPm JP= No. días con lluvia; N= No. días mes; JPm = No. días/mes donde la evaporación del suelo es efectiva (JPm = pluviometría acumulada > 5mm).

Cuadro 2. Clasificación de índices climáticos vitícolas

CLASIFICACIÓN CLIMA VITICOLA	SIGLA	INTERVALO DE CLASE
Muy cálido	IH +3	> 3000
Cálido	IH +2	> 2400 ≤ 3000
Templado cálido templado	IH +1	> 2100 ≤ 2400
Fresco	IH -1	> 1800 ≤ 2100
Muy fresco	IH -2	> 1500 ≤ 1800
	IH -3	≤ 1500
De noches muy frescas	IF +2	≤ 12
De noches frescas	IF +1	> 12 ≤ 14
De noches templadas	IF -1	> 14 ≤ 18
De noches cálidas	IF -2	> 18
Con sequie fuerte	IS+2	≤ -100
Con sequia moderada	IS+1	≤ 50 > -100
Sub- húmedo	IS-1	≤ 150 > 50
Húmedo >100	IS-2	> 50-99

Fuente: Tonietto y Carbonneau (2004).

3.3.2. Caracterización del microclima de la canopia

La caracterización del microclima de la canopia se realizó en base a registros de temperatura (° C), humedad relativa (% HR) y luminosidad (PAR), utilizándose sensores HOBO Data Logger (Pendant Temperature/Light 8K, UA-002-08), con medición diaria e intervalo de 1 hora, desde brotación (E-L 04) a cosecha (E-L), ubicados a la altura del alambre de poda o de los racimos.

3.4. MEDICIONES EN PLANTA

3.4.1. Fenología

La determinación de los estados fenológicos de desarrollo de la vid se realizó en base a la escala de Eichhorn y Lorenz (E-L), adaptada por Coombe (1995). Se observaron a campo y al azar 100 yemas por repetición, de forma semanal desde brotación hasta envero (04-35 EL), a partir de allí, la

caracterización se realizó en el laboratorio a partir de muestreos de 100 bayas previo al análisis de rutina.

3.4.2. Medición para estimar respuesta fisiológica

3.4.2.1. Medición del estatus hídrico

El estado hídrico de la planta se determinó a través de la medición de potencial hídrico foliar de base ($-\psi_{Fb}$), utilizándose la cámara de presión (Scholander et al., 1965) (Soil Moisture equipment, Santa Barbara, CA, USA). La medición se realizó entre las 2 am y 5 am, en 3 hojas adultas por repetición, totalizando 9 hojas por tratamiento. Las determinaciones se realizaron en 7 estados fenológicos: floración (23 E-L), cuajado (29 E-L), cierre de racimo (31 E-L), envero (35 E-L), mediados maduración (36 E-L), pre-cosecha (37 E-L) y cosecha (38 E-L).

3.4.2.2. Medición de fotosíntesis

Se determinó la actividad fotosintética y la tasa de asimilación de CO_2 de la planta con la utilización de IRGA gas-exchange device (LiCor 6400, LiCor®, Lincoln, NE). La medición se realizó a mediados de maduración (36 E-L, 13/2/2020), sobre 3 hojas adultas por repetición, al mediodía (12.00 pm).

3.4.3. Caracterización vegetativa de la canopia

3.4.3.1. Crecimiento de pámpanos y feminelas

Se realizó un seguimiento semanal del crecimiento de pámpanos y feminelas, ubicados entre la 4^{ta}. y 5^{ta}. yema del cargador, mediante el uso de cintas, evaluando siempre los dos mismos pámpanos por repetición y tratamiento, desde brotación (04 E-L) hasta envero (35 E-L).

3.4.3.2. Estimación del Índice de Área Foliar (IAF)

El índice de área foliar (IAF), se estimó quincenalmente y desde brotación (04 E-L) hasta envero (35 E-L), para ello se utilizó la aplicación Vity Canopy descargada en un dispositivo android o móvil (De Bei et al., 2016). La aplicación

determina el valor de IAF a través de imágenes (fotos). Se tomaron dos fotos por repetición, tomadas colocando el dispositivo horizontalmente y por debajo de cada planta, abarcando representativamente el ancho de la espaldera a evaluar.

Con el valor de IAF se estimó el Kc del cultivo utilizando la ecuación propuesta por Williams y Ayars (2016):

$$Y = 0,115 + 0,235 x$$

Siendo y= kc, x= índice de área foliar (IAF).

3.4.3.3. Estimación de la superficie foliar

La superficie foliar expuesta (SFE) fue determinada en envero (35 E-L), sobre tres plantas por repetición. Se utilizó una lona blanca detrás de cada planta y se tomó una foto para hacer la caracterización junto con mediciones de alto y ancho de la canopia. La imagen fue procesada utilizando el programa CobCal 2.1 para obtener las proporciones (en %) de cobertura vegetativa y de espacios sin cubrir vegetativamente. Los datos obtenidos se procesaron para calcular la SFEp con la siguiente fórmula propuesta por Carbonneau (1996):

$$SFE \text{ (m}^2 \text{ /ha)} = (10.000/E) * (1-T/D) * S \text{ inicial}$$

Dónde: E= distancia entre filas (m), T= huecos en el follaje (% o proporción), D= distancia entre plantas (m), S inicial= perímetro exterior expuesto (m).

3.4.3.4. Metodología de point quadrat

La intercepción de la luz varía según la ubicación de la hoja sea interna o externa en la canopia. Para caracterizar la canopia en envero (E-L 35), se estimó el número de planos de hojas, utilizándose el método point quadrat (Smart y Robinson, 1991), sobre 3 plantas por repetición. El método consistió en utilizar una varilla fina metálica, la cual representa un haz de luz que se inserta en la canopia registrando el contacto con las hojas y los racimos. A partir de esos registros se estimó el % de racimos expuestos, hojas internas y expuestas, así como los espacios vacíos dentro de la canopia, describiendo, además la cantidad de capas de hojas en la canopia.

3.5. MEDICIONES DEL PESO Y LA COMPOSICIÓN DE LA BAYA

La evolución de la maduración se cuantificó a través de muestreos semanales a partir de envero (E-L 35) hasta cosecha (38 E-L) para realizar análisis de rutina. Se realizaron muestreos de 100 bayas por repetición, extrayendo grupos de 3-5 bayas del centro del racimo según metodología de Deloire (2018). Se evaluó el peso de la baya, utilizando balanza digital (Ohaus, Scout Pro, USA) y se preparó el mosto con juguera Phillips HR2290 (Phillips, Netherlands). Adicionalmente, en cosecha se agregó el análisis de metabolitos secundarios el cual corresponde a la medición de compuestos polifenólicos.

3.5.1 Metabolismo primario

Los análisis de rutina determinados fueron: sólidos solubles mediante refractometría (Atago, MASTER-T, Japón), pH por potenciometría (Hanna pH/ORP, HI 2211, USA) y acidez total por medición de ácido tartárico utilizando un refractómetro (Atago Co, LTD., Tokyo), expresada como gasto de ácido sulfúrico utilizándose la siguiente ecuación de regresión:

$$y = -0,15 + 10,27 x.$$

Siendo y=acidez titulable, x= acido tartárico.

3.5.2. Metabolismo secundario

La determinación de los compuestos polifenólicos se realizaron sobre muestras de 250 bayas, extrayendo grupos de 3-5 bayas de todo el racimo, en cosecha (E-L 38) según metodología Carbonneau (1996). La metodología de análisis fue propuesta por Glories y Agustin, adaptada por González-Neves et al. (2004). El equipo utilizado fue un espectrofotómetro (Único, S-2150UVE, USA). Se determinó: índice de polifenoles totales (IPT Abs- 280nm), antocianos potencialmente extraíbles (A pH 3,2), potencial antociánico (A pH 1). Se calculó el índice de extractividad de antocianos (%), utilizándose la siguiente fórmula (González- Neves et al., 2012):

$$EA\% = [(A \text{ pH1} - A \text{ pH3.2}) / A \text{ pH1}] \times 100$$

3.6. MEDICIÓN DEL RENDIMIENTO Y SUS COMPONENTES

Los índices utilizados para definir la cosecha fueron: pH y evolución del peso de baya, evitando la deshidratación. La cosecha se efectuó el día 03/03/2020 para el tratamiento alto nylon (ANY), el 04/03/2020 bajo testigo (BT), y el 10/03/2020 los tratamientos bajo riego (BR) y alto testigo (AT). En cada planta se contabilizaron los componentes del rendimiento, registrándose el peso total (kg) y la cantidad de racimos, utilizándose una balanza digital (Ohaus, EB series, USA), separándose los racimos enfermos con podredumbres de los sanos.

3.7. ÍNDICES DE RESPUESTA FISIOLÓGICA

3.7.1. Peso de poda

El peso de la madera de poda se determinó en el receso invernal (mes de mayo), previamente se contabilizó el número de sarmientos por cada planta, para posteriormente proceder a pesar la madera del año extraída, empleando una balanza digital marca Ohaus (EB series, USA) el resultado se expresó en kg/pl.

3.7.2. Cálculo del Índice de Ravaz

El peso de poda, y el rendimiento por planta, permitió realizar el cálculo del índice de Ravaz (IR, Ravaz, 1909), y evaluación del equilibrio fisiológico existente entre la vegetación y la producción.

$$IR = \text{producción de uva (kg)} / \text{producción de madera de poda (kg)}$$

Se han determinado valores de planta equilibrada para este índice entre 6 y 8 para la variedad Tannat (Ferrer et al., 2007).

4. RESULTADOS

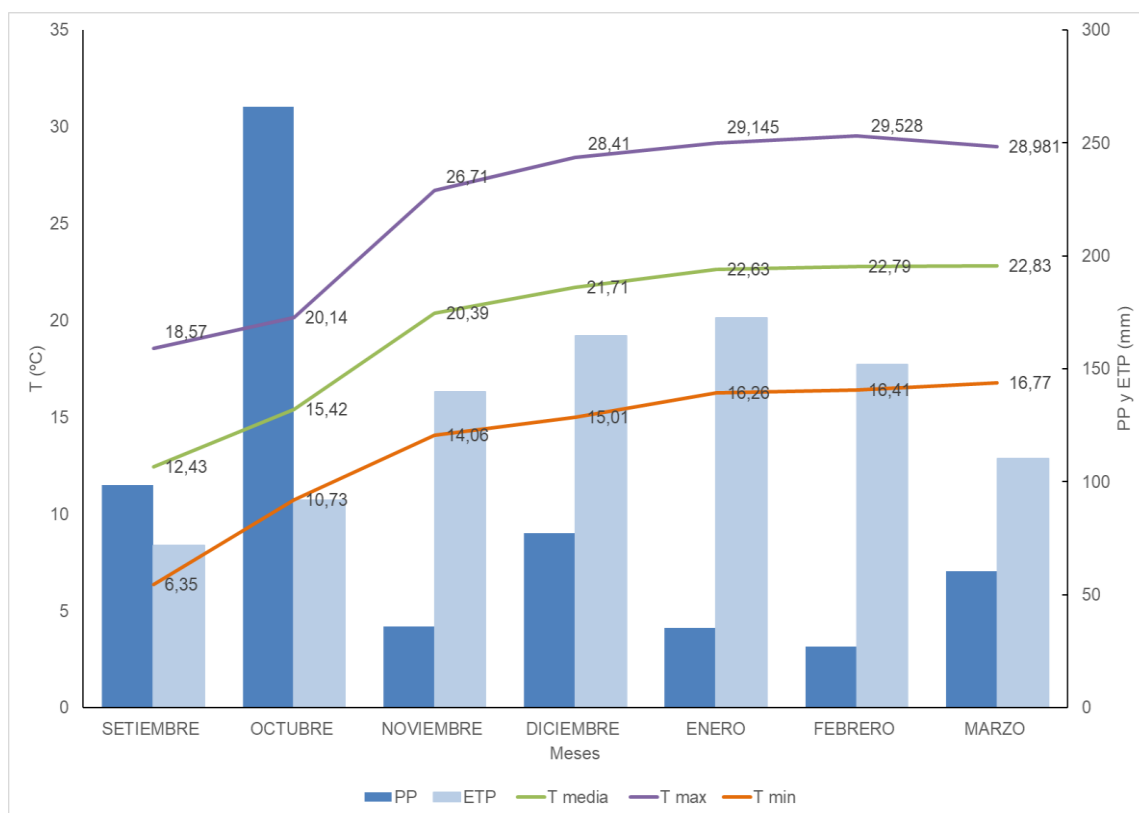
4.1. CARACTERÍSTICAS CLIMÁTICAS

4.1.1 Características climáticas de la región

Los índices bioclimáticos calculados para la zona de estudio y durante el período desde setiembre a febrero (vendimia 2020) indican los siguientes resultados, $IH= 2.218^{\circ}C$, IF para el mes de febrero= $16,4^{\circ}C$ y el $IS= -20,5$ mm.

La temperatura máxima promedio del ciclo se registró en el mes de febrero con $29,5^{\circ}C$ y la mínima en el mes de setiembre de $6,3^{\circ}C$. La acumulación de precipitaciones (PP) desde brotación a cosecha fue de 473 mm, distribuidos de la siguiente manera: 66 % durante el período brotación- floración (04 al 23 E-L), 4 % de floración -cierre de racimo (23 al 31 E-L), 17 % de cierre de racimo - envero (31 al 35 E-L) y 13 % de envero-cosecha (31 al 38 E-L). La demanda atmosférica (ETP) registró un valor máximo en enero de 173 mm representando el 21 % del total, correspondiéndose con la etapa fenológica de envero. Considerando el ciclo de la vid, establecido de setiembre a marzo, existió un déficit hídrico total de -350 mm, acentuado en los meses de noviembre, diciembre, enero y febrero, con valores de -104, -87, -137, -125 mm, respectivamente (Figura 5 y Cuadro 3). En comparación con la serie histórica de precipitaciones de 21 años (1999-2019) el período brotación- floración fue superior a la serie, de floración a envero fue igual y de envero a cosecha las precipitaciones fueron inferiores a la serie, en la totalidad del ciclo la serie histórica es superior al ciclo 2019-2020.

En el período desde floración a cosecha, no se abastece la demanda atmosférica, con diferencias respecto al aporte hídrico entre los tratamientos (Cuadro 4). El tratamiento regado (BR) es el que menos déficit hídrico presentó con valores de -58,5 mm, principalmente entre cierre de racimo y envero. Por otra parte, el tratamiento con nylon (ANY) es el más restringido hídricamente durante el período envero-cosecha, con valores de -323 mm.



PP= precipitaciones. ETP= evapotranspiración. Tmedia= temperatura promedio. T máx.= temperatura máxima. T mín.= temperatura mínima.

Figura 5. Caracterización climática para el ciclo de crecimiento 2019-2020

Fuente: elaborado en base a INIA. GRAS (2021).

Cuadro 3. Acumulación de precipitaciones por período fenológico y ETP desde brotación a cosecha del ciclo 2019-20 (10 de setiembre al 10 de marzo) y serie histórica de años 21 años

ETAPA FENOLOGICA	PP en mm (% del total)	ETP en mm (% del total)	PP-ETP (mm)	PP (mm) serie histórica* por período
Brotación - floración (04 E-L al 23 E-L)	314 (66%)	177 (22%)	137	107
Floración - cierre de racimo (23 E-L al 31 E-L)	20 (4%)	131(16%)	-111	96
Cierre de racimo - envero (31 E-L al 35 E-L)	79 (17%)	193 (23%)	-114	
Envero - cosecha (35 E-L al 38 E-L)	61 (13%)	323 (39%)	-262	123
TOTAL	473 mm	824 mm	-350 mm	703

PP= precipitación. ETP= evapotranspiración. * Serie de 21 años (1999-2019).

Fuente: elaborado en base a INIA. GRAS (2021).

Cuadro 4. Balance hídrico por tratamiento desde brotación a cosecha considerando: precipitaciones, riego y evapotranspiración por período fenológico

	AT			ANY			BT			BR		
	PP	ETP	Bh	PP	ETP	Bh	PP	ETP	Bh	PP	ETP	Bh
B-F	314	177	137	314				177	137	314		
F-CR	20	131	-111	20				131	-111	66	131	-65
CR-E	79	193	-114	79				193	-114	135	193	-59
E-C	61	323	-262	0	323	-323	61	323	-262	85	323	-238

AT= alto testigo. ANY= alto nylon. BT= bajo testigo. BR= bajo riego. PP= precipitación (mm). ETP= evapotranspiración (mm). Bh=Balance hídrico (mm). B-F= brotación- floración. F-CR= floración- cierre de racimo. CR-E= cierre de racimo- envero. E-C= envero-cosecha.

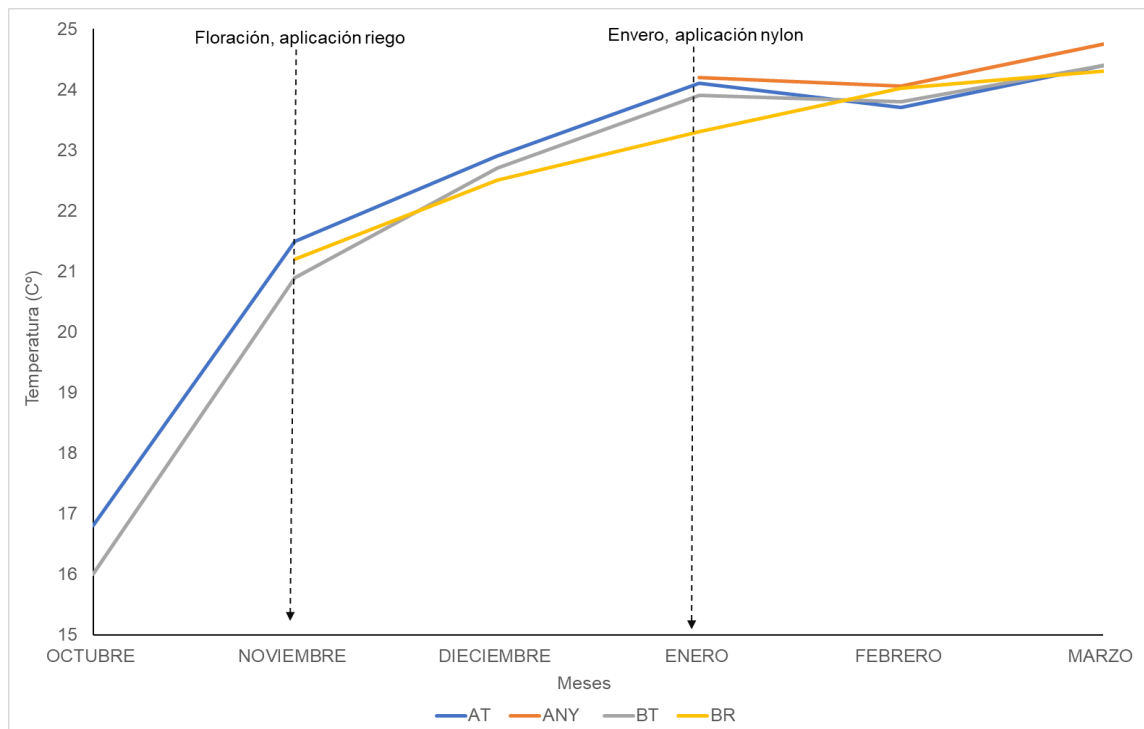
4.1.1. Condiciones del microclima de la canopia

La temperatura de la canopia mostró valores máximos promedio de 24° C en los meses de enero, febrero y marzo. Por otro lado, a partir del cuadro 6 se visualiza que el tratamiento ANY presenta temperaturas algo más elevadas que el resto de los tratamientos (Cuadro 6 y Figura 6). La humedad relativa alcanzó los valores mayores, de 70 % en promedio, en los meses de octubre, noviembre y diciembre, sin diferencias entre los tratamientos (Cuadro 5 y Figura 7). En cuanto a la evolución de la intensidad lumínica en los diferentes tratamientos, se observa una disminución de esta desde octubre a diciembre. A partir de diciembre la luz aumenta, en donde BT es mayor en comparación a los demás tratamientos y BR el menor. Por otra parte, el tratamiento con la aplicación de nylon presenta una disminución en comparación al testigo de la misma zona de vigor (Cuadro 5 y Figura 8).

Cuadro 5. Condiciones del microclima de la canopia promedio mensual

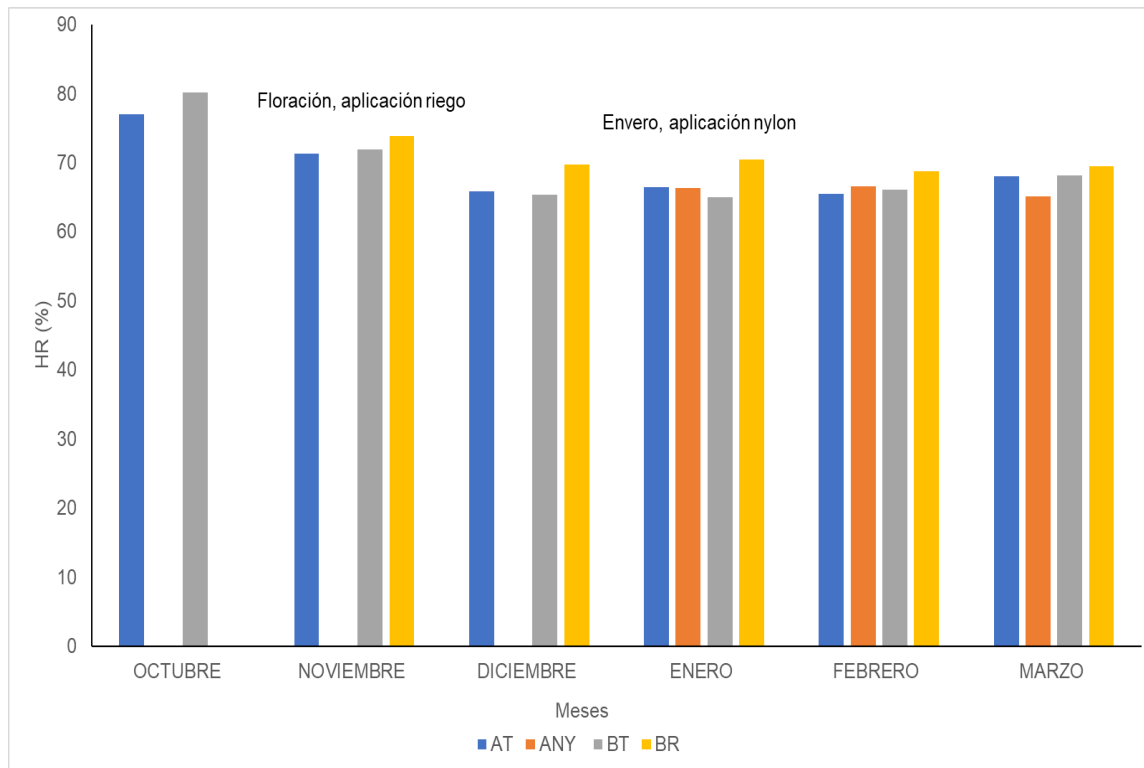
	ALTO TESTIGO			ALTO NYLON			BAJO TESTIGO			BAJO RIEGO		
MES	TEMP.	HR.	LUZ	TEMP.	HR.	LUZ	TEMP.	HR.	LUZ	TEMP.	HR.	LUZ
OCTUBRE	16,8	77,0	581,1				16,0	80,1	871,73			
NOVIEMBRE	21,5	71,4	419,4				20,9	71,9	378,49	21,2	73,9	519,59
DIECIEMBRE	22,9	65,8	262				22,7	65,4	271,64	22,5	69,7	224,94
ENERO	24,1	66,4	422,4	24,2	66,3	521,08	23,9	65,0	876,98	23,3	70,4	315,20
FEBRERO	23,7	65,5	575,5	24,1	66,5	370,93	23,8	66,1	976,30	24,0	68,8	436,02
MARZO	24,4	68,0	887,2	24,8	65,1	382,02	24,4	68,2	765,69	24,3	69,5	440,47

TEMP. = temperatura (° C). HR. = humedad relativa (%). LUZ= intensidad lumínica (PAR).



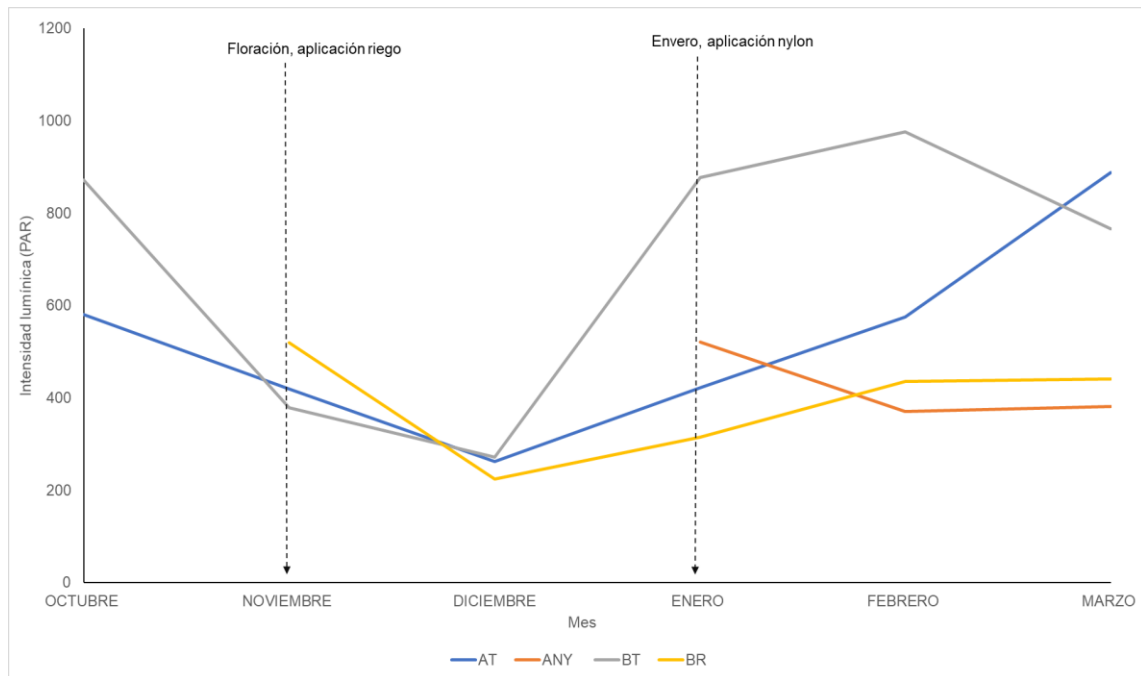
AT= alto testigo. ANY= alto nylon. BT= bajo testigo. BR= bajo riego.

Figura 6. Evolución de la temperatura promedio (° C) de la canopia



AT= alto testigo. ANY= alto nylon. BT= bajo testigo. BR= bajo riego.

Figura 7. Evolución de la humedad relativa (%) promedio del microclima de la canopia



AT= alto testigo. ANY= alto nylon. BT= bajo testigo. BR= bajo riego.

Figura 8. Evolución de la intensidad lumínica promedio (PAR) del microclima de la canopia

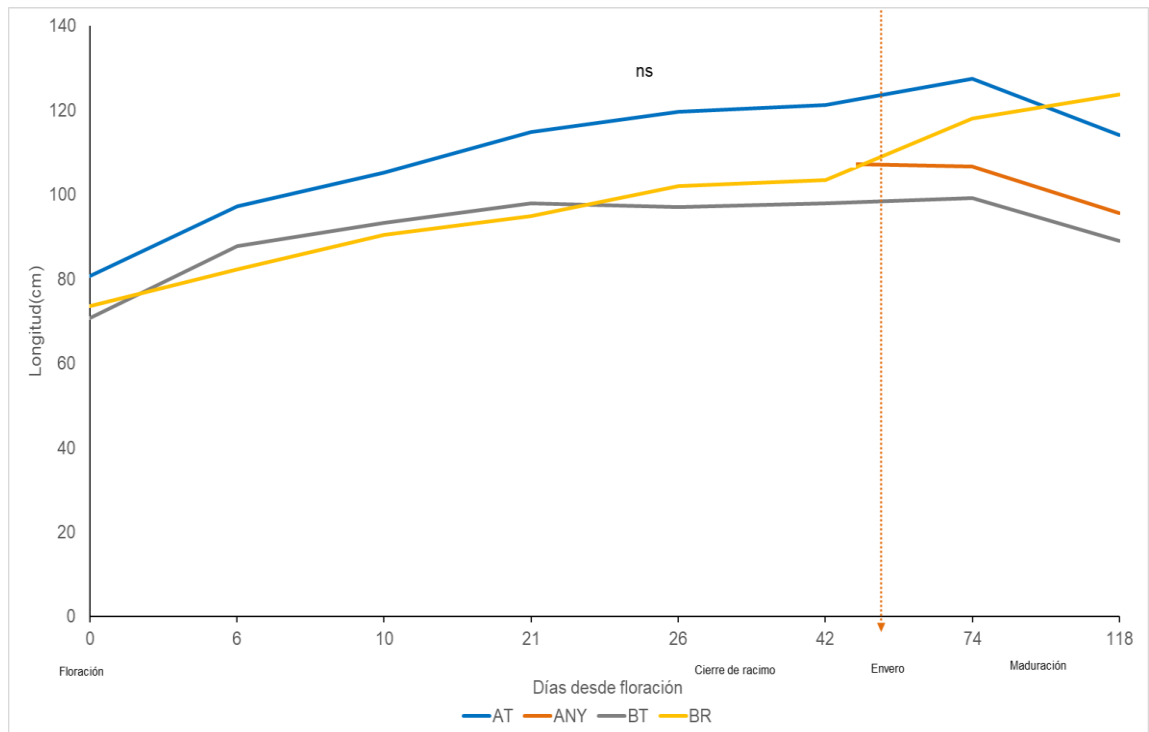
4.2. MEDICIONES EN PLANTA

4.2.1. Caracterización vegetativa

4.2.1.1. Crecimiento de pámpanos y feminelas

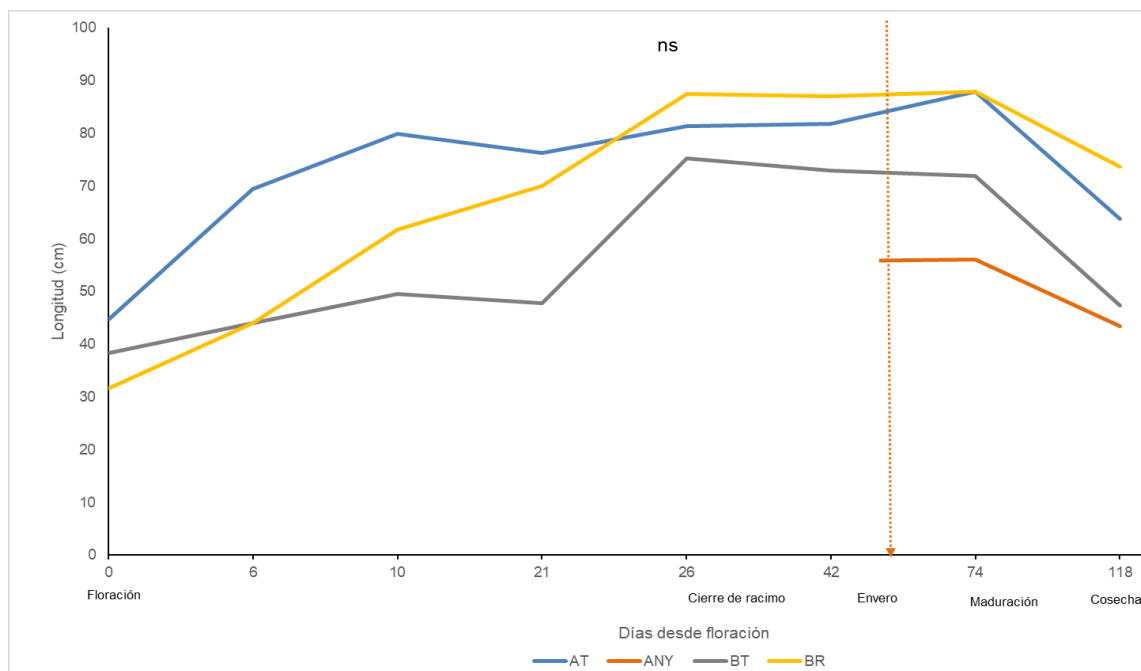
El crecimiento de pámpano evaluado a lo largo del ciclo no muestra diferencias estadísticas entre los tratamientos ($p= 0,44$). Sin embargo, el tratamiento que presenta mayor crecimiento fue el AT, mientras que el tratamiento BR presenta un aumento del crecimiento a partir de envero hasta cosecha (Figura 9).

El crecimiento de feminelas por tratamiento, evaluado a lo largo del ciclo no muestra diferencias estadísticas significativas ($p= 0,58$) (Figura 10).



Medias con igual letra no presentan diferencias significativas ($\alpha = 0,05$). AT= alto testigo. ANY= alto nylon. BT= bajo testigo. BR= bajo riego.

Figura 9. Evolución del crecimiento de pámpanos promedio ($n = 3$) durante el ciclo por tratamiento

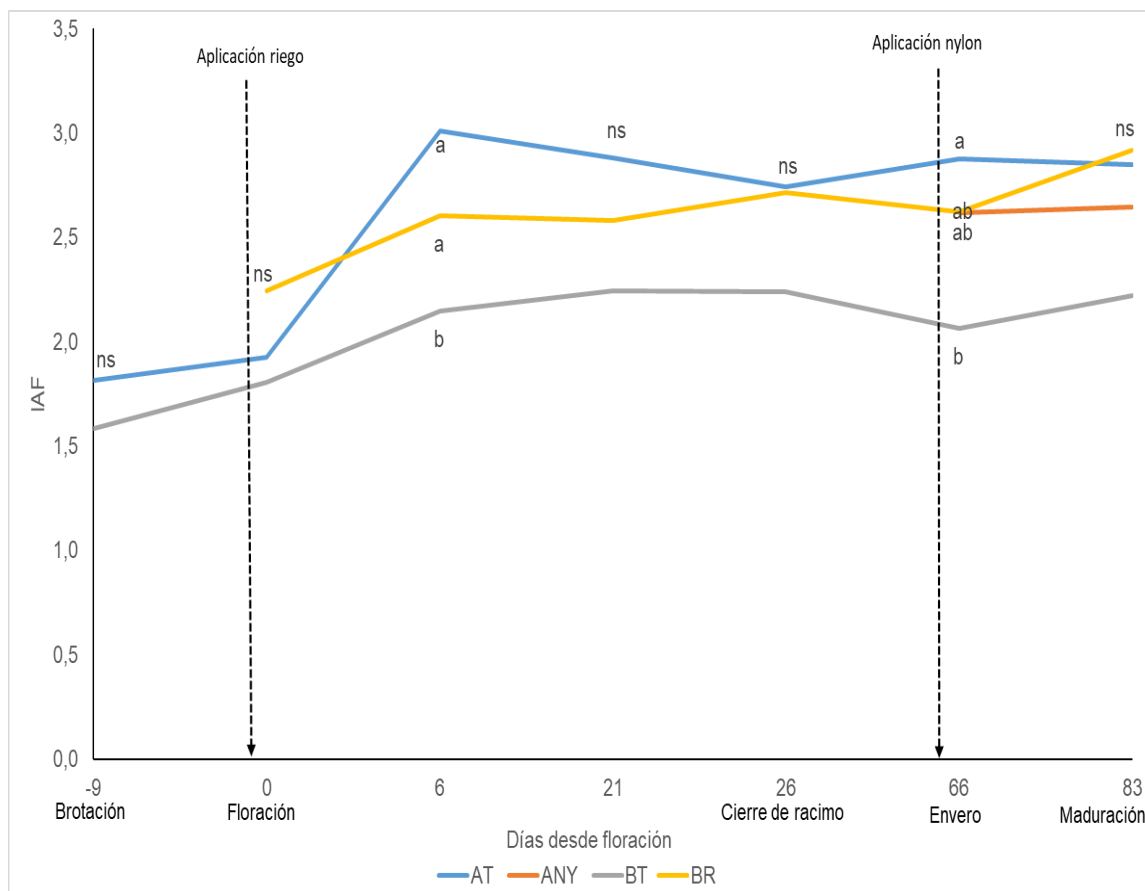


Medias con igual letra no presentan diferencias significativas ($\alpha = 0,05$). AT= alto testigo. ANY= alto nylon. BT= bajo testigo. BR= bajo riego.

Figura 10. Evolución del crecimiento de feminelas promedio ($n = 3$) en los tratamientos evaluados

4.2.1.2. Índice de Área Foliar (IAF)

La evolución del índice de área foliar (IAF) a lo largo del ciclo por tratamiento muestra que, el AT presenta mayor valor de IAF, mientras que BT el menor valor. A los 6 días desde floración (ddf) se diferencian estadísticamente ($p = 0,0015$), con valores superiores en los tratamientos AT, ANY y BR, respecto a BT. Por otro lado, al momento de envero, a los 66 ddf, también hubo diferencias entre tratamientos ($p = 0,041$), siendo inferior el registro de BT respecto a AT, BR y ANY (Figura 11).

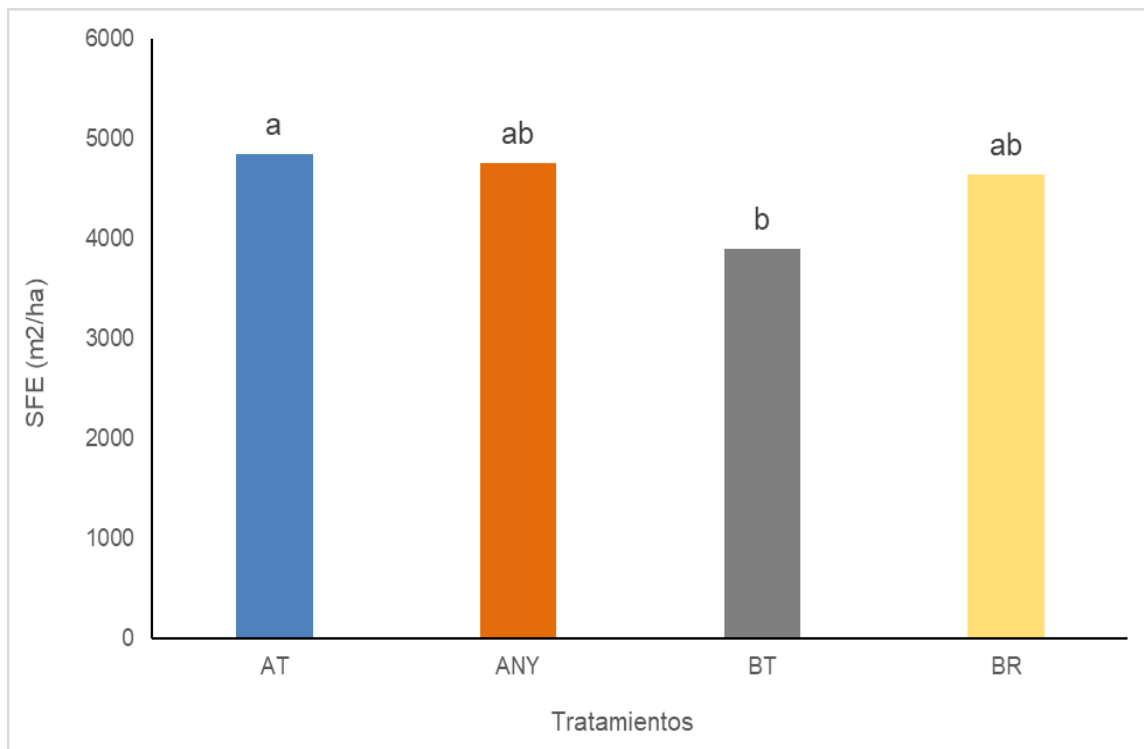


Medias con igual letra no presentan diferencias significativas ($\alpha = 0,05$). AT= alto testigo. ANY= alto nylon. BT= bajo testigo. BR= bajo riego.

Figura 11. Evolución del Índice de área foliar promedio por tratamiento

4.2.1.3. Superficie foliar

La superficie foliar determinada en envero (35 E-L), muestra diferencias estadísticas entre los tratamientos ($p = 0,02$), con los mayores valores en AT y los menores en BT, mientras que ANY y BR presentan valores intermedios y sin diferencias respecto a los testigos de cada región (Figura 12).



Medias con igual letra no presentan diferencias significativas ($\alpha = 0,05$). AT= alto testigo. ANY= alto nylon. BT= bajo testigo. BR= bajo riego.

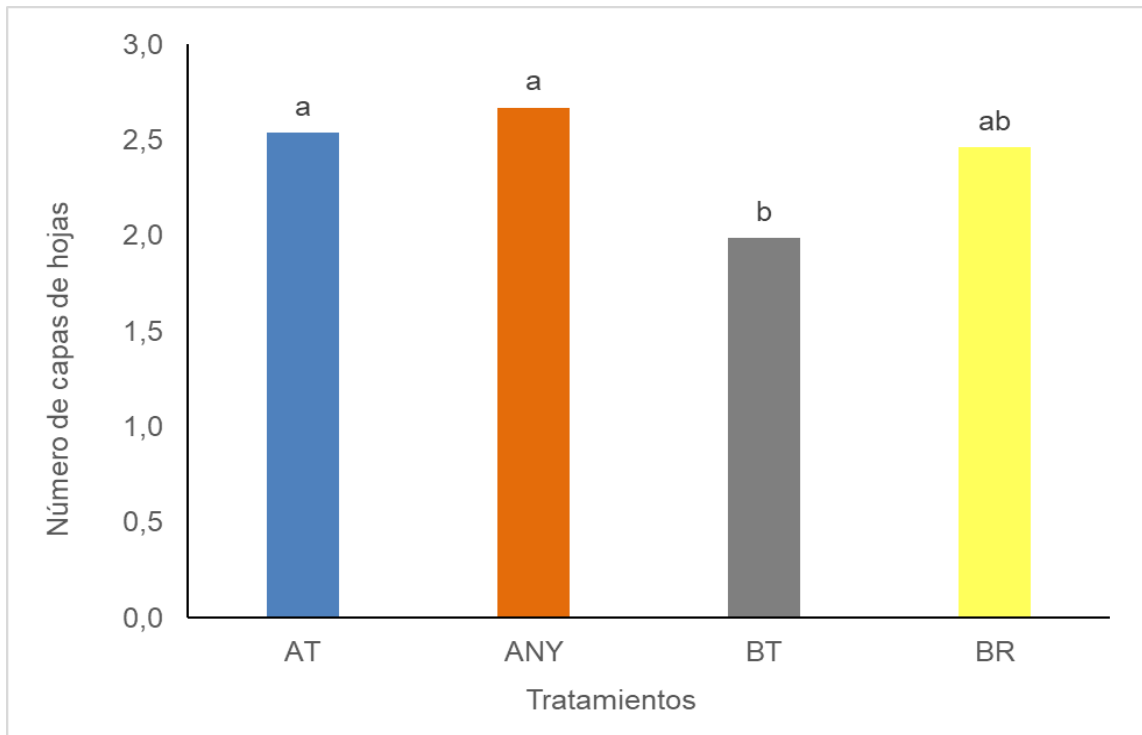
Figura 12. Superficie foliar promedio por tratamiento en enero

4.2.1.4. Point quadrat

La evaluación conocida como point quadrat, realizada en enero (35 E-L), permite distinguir el número de capas de hojas y el porcentaje de racimos internos dentro de la canopia.

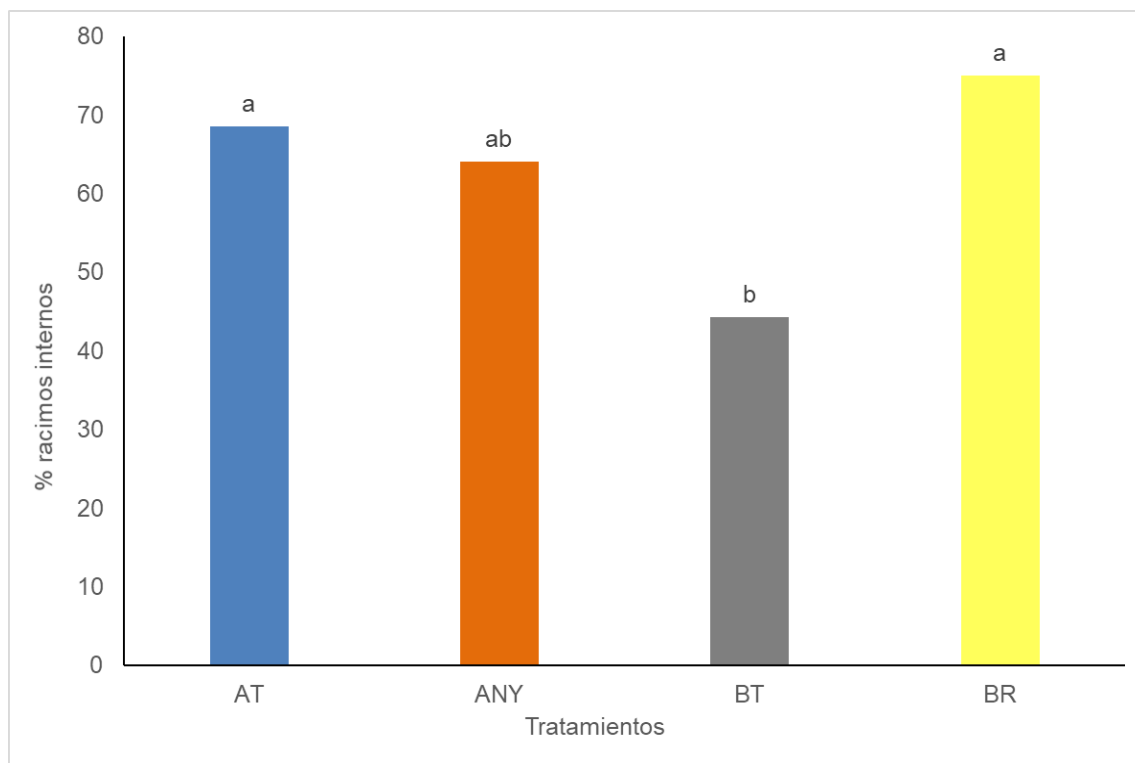
En cuanto al número de capas de hojas, se detectan diferencias significativas entre los tratamientos (Figura 13). El tratamiento BR presenta menor número de capas de hojas con un promedio de 2 capas de hojas, diferente estadísticamente ($p=0,0084$) a los tratamientos en la zona de alto vigor pero no del tratamiento regado; este último no se diferencia estadísticamente de los demás tratamientos.

En la evaluación estadística en el porcentaje de racimos internos se observa que existen diferencias significativas entre los tratamientos ($p=0,0061$). El tratamiento BT presenta menor porcentaje de racimos internos (44%) en comparación al resto (Figura 14). Por otro lado, BR y AT presentan mayor porcentaje, 75% y 69% respectivamente; en cuanto al tratamiento ANY este no se diferencia estadísticamente de los demás.



Medias con igual letra no presentan diferencias significativas ($\alpha=0,05$). AT= alto testigo. ANY= alto nylon. BT= bajo testigo. BR= bajo riego.

Figura 13. Número de capas de hojas promedio de la canopia por tratamiento en envero

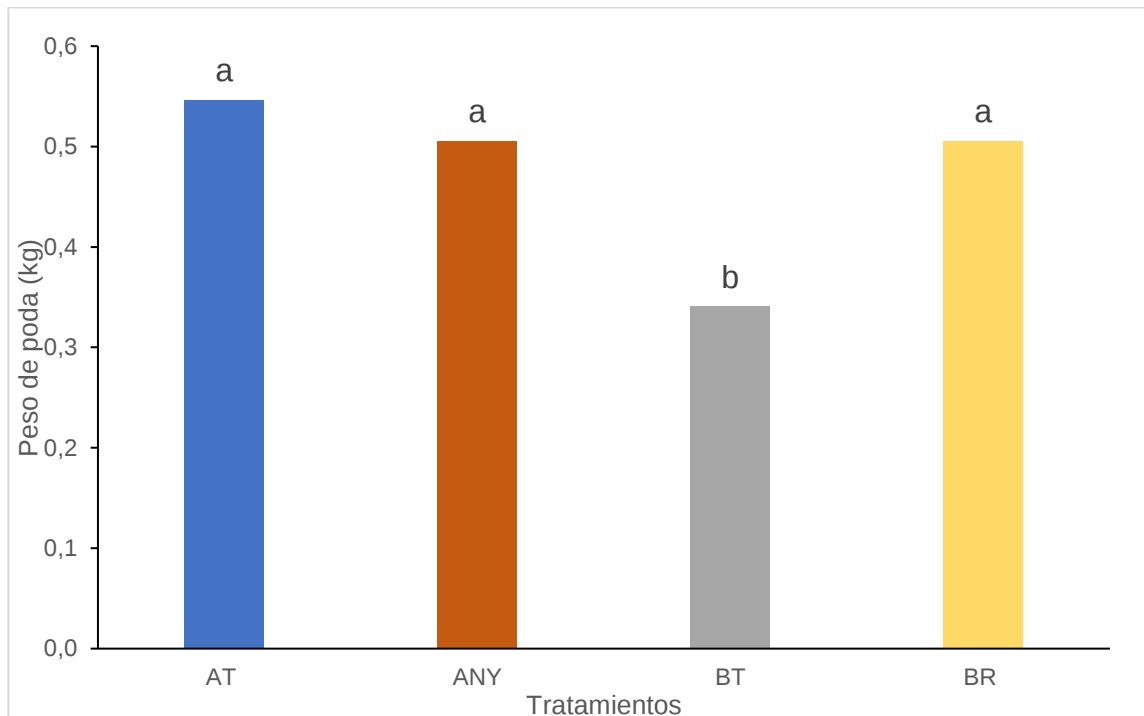


Medias con igual letra no presentan diferencias significativas ($\alpha = 0,05$). AT= alto testigo. ANY= alto nylon. BT= bajo testigo. BR= bajo riego.

Figura 14. Porcentaje de racimos internos promedio por tratamiento en enero

4.2.2. Peso de poda

Los registros de peso de poda muestran diferencias significativas entre los tratamientos ($p = 0,0011$), siendo BT con los menores valores, mientras que AT, ANY y BR no se diferenciaron entre sí, con los mayores pesos (Figura 15).



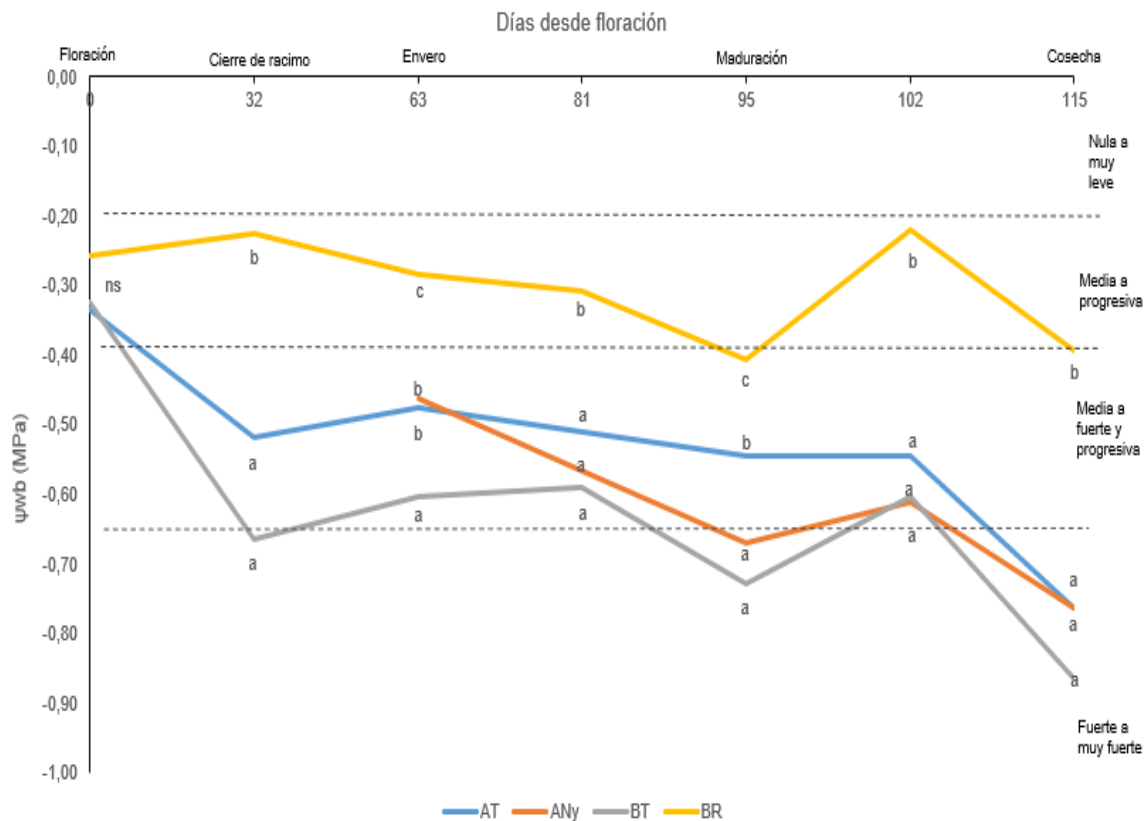
Medias con igual letra no presentan diferencias significativas ($\alpha = 0,05$). AT= alto testigo. ANY= alto nylon. BT= bajo testigo. BR= bajo riego.

Figura 15. Peso de poda (kg) por planta promedio de los tratamientos evaluados

4.2.3. Respuesta fisiológica de la planta

4.2.3.1. Estatus hídrico durante el ciclo productivo

Los potenciales hídricos foliar de base medidos a lo largo del ciclo presentaron diferencias entre los tratamientos evaluados ($p = 0,0002$). El tratamiento BR se presenta con los valores hídricos menos restrictivos durante todo el ciclo, entre -0.20 y -0.40 MPa, catalogado como una restricción hídrica de media a progresiva. El tratamiento BT mantuvo las mayores restricciones hídricas a lo largo de todo el ciclo de cultivo, con valores entre -0,4 y -0,7 MPa, catalogada como una restricción de media a fuerte y progresiva, alcanzando en cosecha valores aún más restrictivos, de - 0,90 catalogado de fuerte a muy fuerte. Los tratamientos AT y ANy se muestran dentro de una restricción media a fuerte y progresiva, con diferencias significativas respecto al BR (Figura 16).

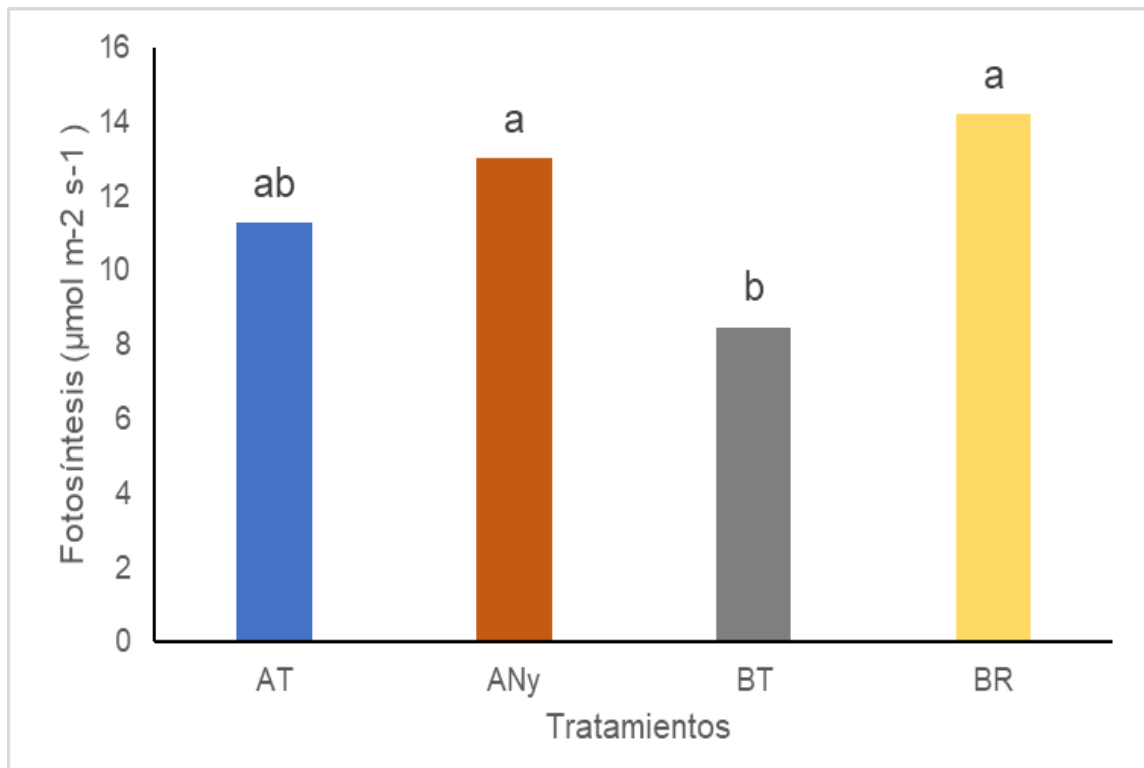


Medias con igual letra no presentan diferencias significativas ($\alpha=0,05$). AT= alto testigo. ANY= alto nylon. BT= bajo testigo. BR= bajo riego.

Figura 16. Evolución de potencial hídrico foliar de base promedio por tratamiento durante el ciclo

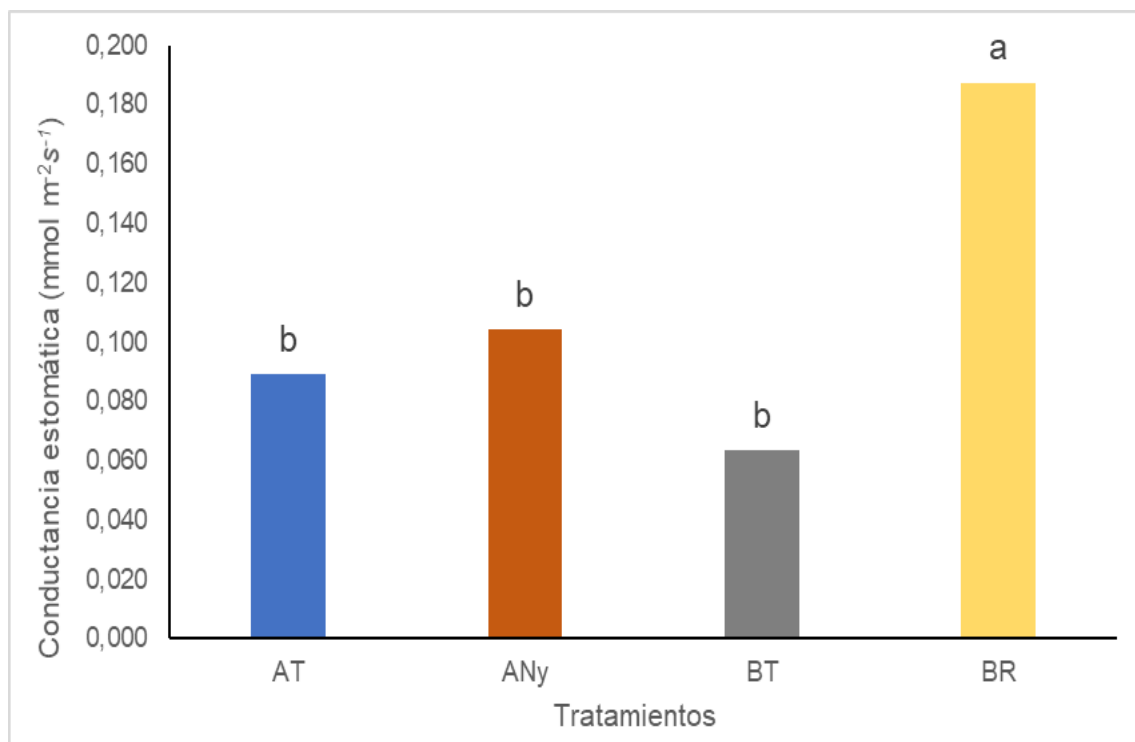
4.2.3.2. Actividad fotosintética en envero

La actividad fotosintética determinada en envero, estado 35 E-L, muestra diferencias significativas entre los tratamientos ($p=0,004$). Los mayores valores de fotosíntesis neta se obtuvieron en BR y ANY $14 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ y $13 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ respectivamente y los menores en BT de $8 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ (Figura 17), mientras que AT muestra valores intermedios. La conductancia estomática muestra diferencias significativas entre tratamientos ($p=0,0062$), con los mayores valores de conductancia de $0,19 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ en el BR respecto a los demás (Figura 18).



Medias con igual letra no presentan diferencias significativas ($\alpha = 0,05$). AT= alto testigo. ANY= alto nylon. BT= bajo testigo. BR= bajo riego.

Figura 17. Actividad fotosintética ($\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) promedio en enero por tratamiento



Medias con igual letra no presentan diferencias significativas ($\alpha = 0,05$). AT= alto testigo. ANY= alto nylon. BT= bajo testigo. BR= bajo riego.

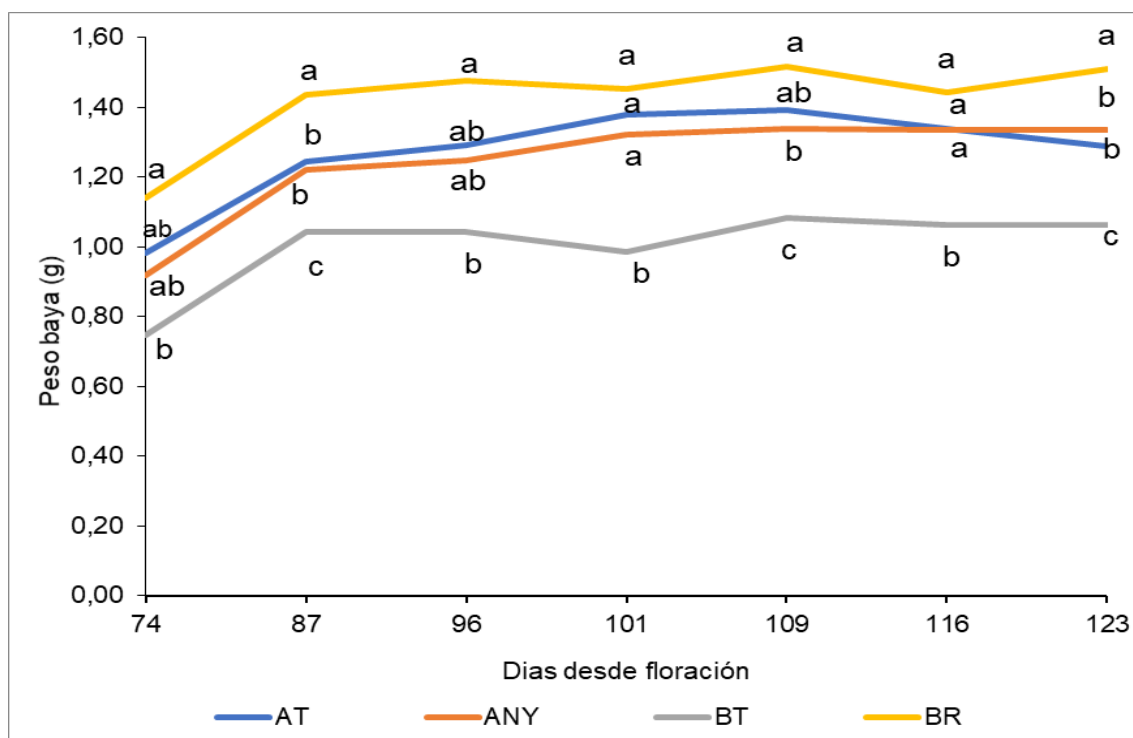
Figura 18. Conductancia estomática (mmol m⁻²s⁻¹) promedio por tratamiento en envero

4.3. MEDICIONES REALIZADAS EN LA BAYA

4.3.1. Evolución del desarrollo de la baya

4.3.1.1. Peso de la baya

En la evolución del peso de baya, se observan diferencias significativas entre los tratamientos evaluados ($p= 0,0035$), con valores superiores en BR a lo largo de la maduración de la baya, mientras que BT presenta los valores inferiores. Los tratamientos AT y ANY muestran registros intermedios diferenciándose en la mayoría de las fechas de muestreo con BT (Figura 19).



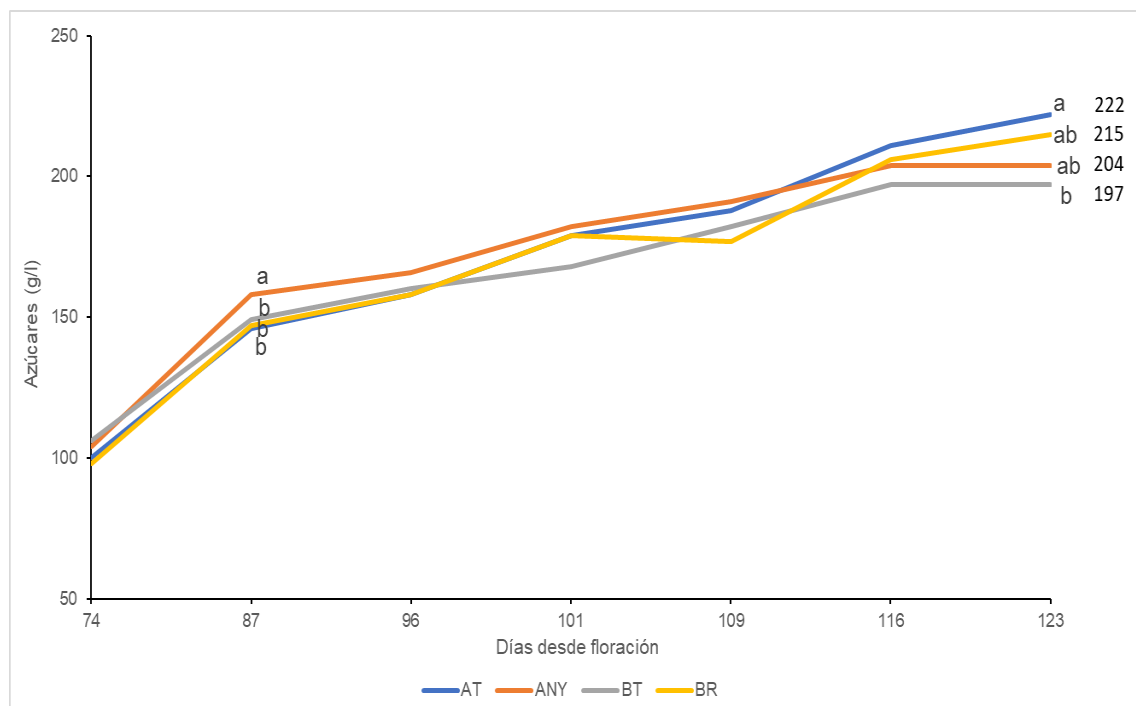
Medias con igual letra no presentan diferencias significativas ($\alpha= 0,05$). AT= alto testigo. ANY= alto nylon. BT= bajo testigo. BR= bajo riego.

Figura 19. Evolución del peso de baya promedio por tratamiento

4.3.1.2. Metabolismo primario

Evolución azúcares

Los azúcares tienden a aumentar a lo largo de la maduración de la baya. En su evolución existen diferencias significativas de las concentraciones a los 87 ddf, donde el tratamiento ANY obtiene el mayor valor en comparación a los demás. Por otro lado, se observa que a partir de 116 ddf, los tratamientos ANY y BT se mantienen constantes mostrando un estancamiento en la acumulación de azúcares, mientras que BR y AT logran un aumento en este parámetro. En la última fecha de muestreo (cosecha), el tratamiento AT fue significativamente mayor ($p=0,0072$) con valores de 222 g/L y en contraposición esta BT con 197 g/L, mientras que los tratamientos BR y ANY se mantienen con valores intermedios (Figura 20).

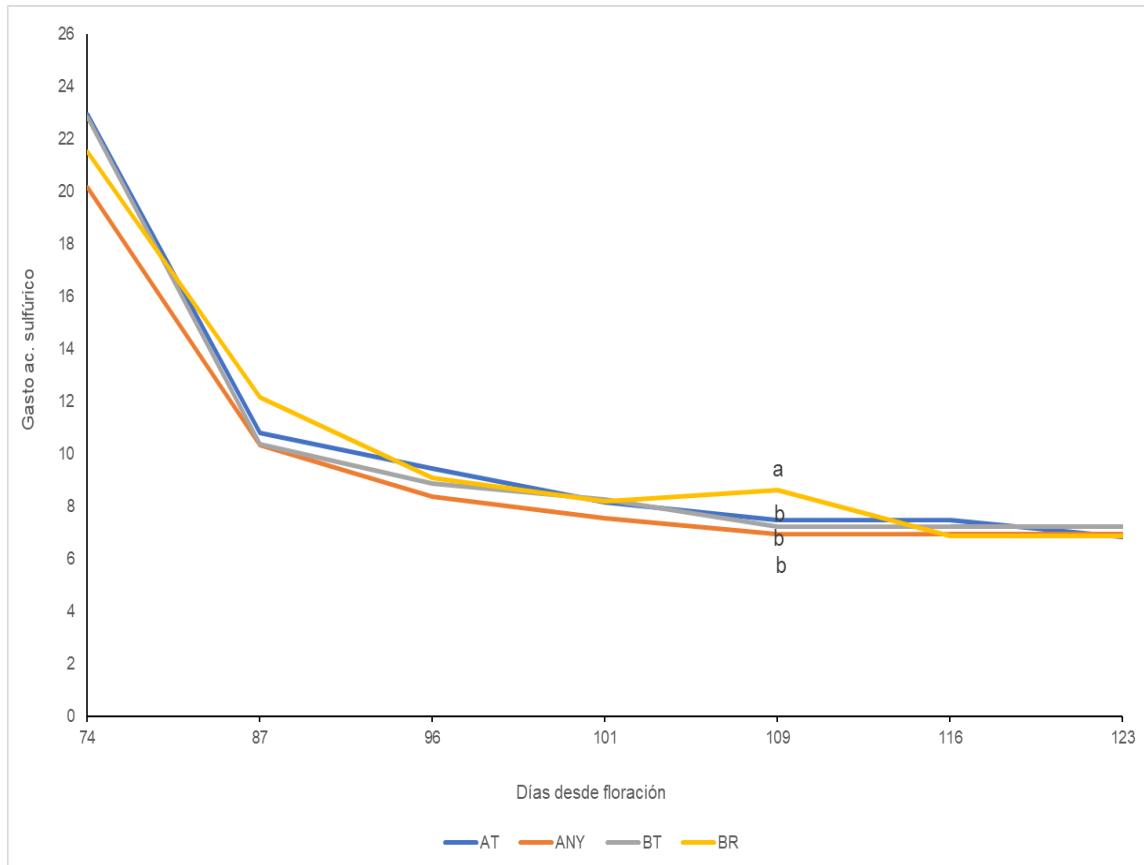


Medias con igual letra no presentan diferencias significativas ($\alpha=0,05$). AT= alto testigo. ANY= alto nylon. BT= bajo testigo. BR= bajo riego.

Figura 20. Evolución de la concentración de azúcares en maduración (g/L) por tratamiento

Evolución acidez total

La acidez total a lo largo de la maduración de la baya tiende a disminuir sin presentar grandes diferencias entre tratamientos en su evolución, con excepción de lo ocurrido a los 109 ddf ($p= 0,0064$), donde BR fue superior en acidez en comparación a los demás (Figura 21).



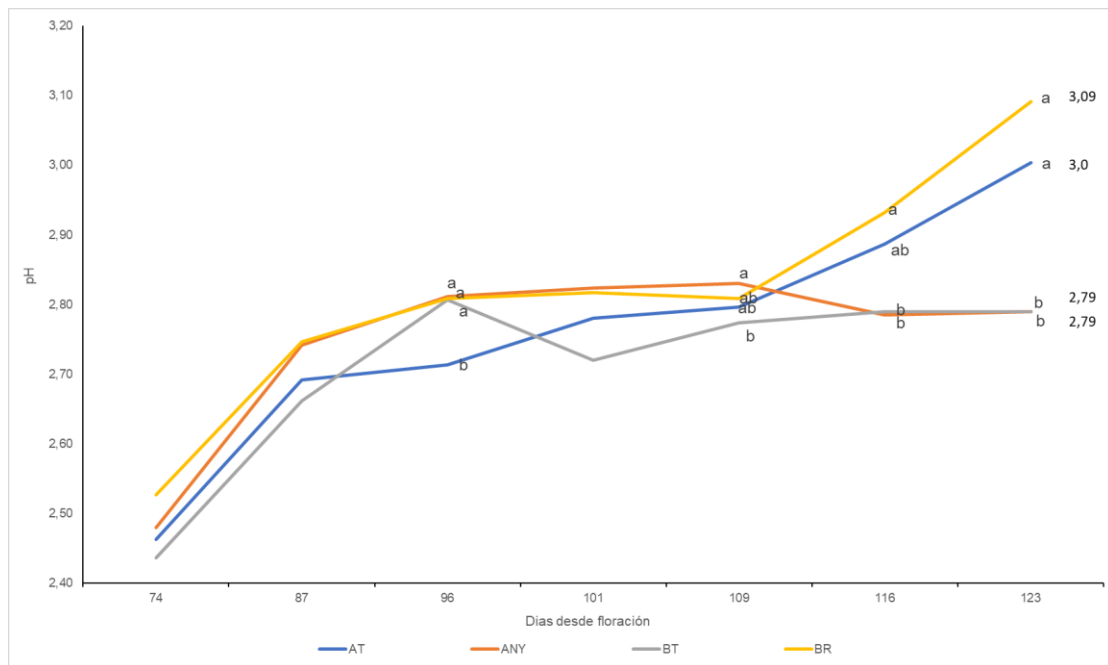
Medias con igual letra no presentan diferencias significativas ($\alpha= 0,05$). AT= alto testigo. ANY= alto nylon. BT= bajo testigo. BR= bajo riego.

Figura 21. Evolución de acidez total ($\text{g}/\text{H}_2\text{SO}_4$) en maduración por tratamiento

Evolución pH

El pH evoluciona aumentando sus valores a lo largo de la maduración de la baya. En cuanto a su evolución por tratamiento, existen diferencias significativas en varias fechas: a los 96 ddf ($p= 0,0023$) siendo AT inferior a los demás tratamientos, mientras que a los 109 ddf también hubo diferencias ($p= 0,0091$), siendo ANY superior y BT inferior. A partir de 116 ddf se observa un

estancamiento en los valores de pH de los tratamientos ANY y BT, mientras que BR y AT siguen aumentando, alcanzando valores más cercanos a los índices óptimos de cosecha ($p=0,0068$) (Figura 22).



Medias con igual letra no presentan diferencias significativas ($\alpha=0,05$). AT= alto testigo. ANY= alto nylon. BT= bajo testigo. BR= bajo riego.

Figura 22. Evolución del pH en maduración por tratamiento

4.4. EVALUACIÓN DEL RENDIMIENTO Y SUS COMPONENTES EN COSECHA

4.4.1. Peso de baya

El peso de baya en cosecha muestra diferencias estadísticas entre los tratamientos evaluados ($p=0,0002$). El tratamiento que logra el mayor peso de baya es el BR con 1,50 g, mientras que BT el menor valor con 1,01 g. Los tratamientos AT y ANY se mantienen en niveles intermedios con valores de 1,29 g y 1,33 g, respectivamente (Cuadro 6).

4.4.2. Rendimiento por planta

En la evaluación del rendimiento los tratamientos presentan diferencias significativas ($p= 0,022$) donde, BR obtiene 7,75 kg/pl siendo el mayor y BT el menor 4,69 kg/pl. En cuanto a ANY con 6,40 kg/pl no se diferencia de BR ni de AT, pero sí de BT; AT con 5,76 kg/pl se diferencia solamente de BR (Cuadro 6).

4.4.3. Número de racimos por planta

En cuanto al número de racimos por planta, los tratamientos no se diferenciaron estadísticamente ($p= 0,54$). Obteniéndose valores promedios de 28, 29 y 31 racimos por planta en AT, ANY, BR y BT respectivamente (Cuadro 6). Por otro lado, se consideró el número de racimos enfermos, sin encontrarse incidencia de patógenos en el estatus sanitario de cosecha.

4.4.4. Peso de racimo

El peso de racimo al momento de cosecha presenta diferencias estadísticas entre los tratamientos ($p= 0,025$) siendo, BR el tratamiento con mayor peso de racimo con 277 g y BT el de menor con 159 g. Mientras que los tratamientos AT con 213 g y ANY con 224 g, con pesos de racimos intermedios, sin diferencias respecto a los demás tratamientos (Cuadro 6).

Cuadro 6. Evaluación del rendimiento y sus componentes en cosecha por tratamiento

Rendimiento y sus componentes					
	AT	ANY	BT	BR	p-valor
Peso de baya (g)	1,3 b	1,3 b	1,0 c	1,5 a	0,0002
Rendimiento por planta (kg)	5,8 bc	6,4 ab	4,7 c	7,8 a	0,022
No. de racimos por planta	28	29	31	29	0,54
Peso de racimo (g)	213 ab	224 ab	159 b	277 a	0,025

Letras iguales no presentan diferencias significativas ($\alpha= 0,05$). AT= alto testigo. ANY= alto nylon. BT= bajo testigo. BR= bajo riego.

4.5. EVALUACIONES DE COMPOSICIÓN EN COSECHA

4.5.1. Metabolismo primario

En cosecha los tratamientos presentaron diferencias estadísticas en sus concentraciones de azúcares ($p= 0,015$), en donde AT presenta los valores superiores con 222 g/L y BT los inferiores 197 g/L. Por otro lado, BR con 215 g/L y ANY con 204 g/L, no se diferenciaron estadísticamente de los demás tratamientos. En cuanto a la cantidad de azúcares (mg/baya) los tratamientos se diferencian estadísticamente ($p=0,001$) siendo BR el que presenta mayor cantidad 295,3 mg/baya, mientras que BT es el menor con 184,2 mg/baya. AT y ANY no se diferencian estadísticamente con BR pero si con BT (Cuadro 7).

Con respecto a la acidez total evaluada en cosecha, no se registraron diferencias significativas entre los tratamientos ($p= 0,87$). El pH evaluado en cosecha muestra diferencias significativas entre tratamiento ($p= 0,0001$), donde BR presenta los mayores valores 3,09, seguido por AT con 3,00 siendo iguales estadísticamente. El tratamiento con menor pH fue ANY con 2,78 y BT con 2,93 sin diferencia estadística, pero diferentes a AT y BR (Cuadro 7).

4.5.2. Metabolismo secundario

Índice de polifenoles totales (IPT): la riqueza fenólica, presenta diferencias significativas entre los tratamientos ($p= 0,0032$), siendo el BR el tratamiento con los valores superiores 77 unidades de absorbancia (u.a), mientras BT con los inferiores 62 u.a. Por otro lado, AT con 68 u.a y ANY 69 u.a presentan valores intermedios (Cuadro 7).

Antocianos: los contenidos de antocianos evaluados a pH1 (ApH1), muestra diferencias significativas ($p= 0,0014$) entre tratamientos evaluados al momento de cosecha. El tratamiento BR presenta los mayores contenidos 2.426 mg/L y el BT los menores 1.692 mg/L, mientras que AT 2.091 mg/L y ANY 1.859 mg/L sin diferencias significativas. Los contenidos de antocianos a pH 3,2 (ApH3,2) muestran diferencias entre tratamiento ($p= 0,0017$) siendo, AT el que presenta mayores contenidos de 820 mg/L y BT los menores con 664 mg/L, mientras que BR y ANY no logran diferenciarse del resto con valores de 801 mg/L y 720 mg/L, respectivamente (Cuadro 7).

Índice de extractibilidad de antocianos: en este parámetro los tratamientos evaluados no se diferencian estadísticamente ($p= 0,078$) con promedios de 67 para BR, 61 para AT y ANY y 60 para BT (Cuadro 7).

Cuadro 7. Composición química de la uva en cosecha por tratamiento

	AT	ANY	BT	BR	p-valor
Metabolismo primario					
Azúcares (g/L)	222 a	204 bc	197 c	215 ab	0,0072
Azúcares (mg/baya)	261,1 a	248,9 a	184,23 b	295,36 a	0,001
Acidez total (gasto H_2SO_4/L)	6,79	6,97	6,91	6,91	0,87
pH	3,00 b	2,78 d	2,93 c	3,09 a	< 0,0001
Metabolismo secundario					
IPT (u a)	68 b	69 ab	62 b	77 a	0,0032
Antocianos a pH 1 (mg/L)	2091 ab	1859 bc	1692 c	2426 a	0,0014
Antocianos a pH 3,2 (mg/L)	820 a	720 bc	664 c	801ab	0,0017
Índice de extractibilidad de antocianos (%)	61	61	60	67	0,078

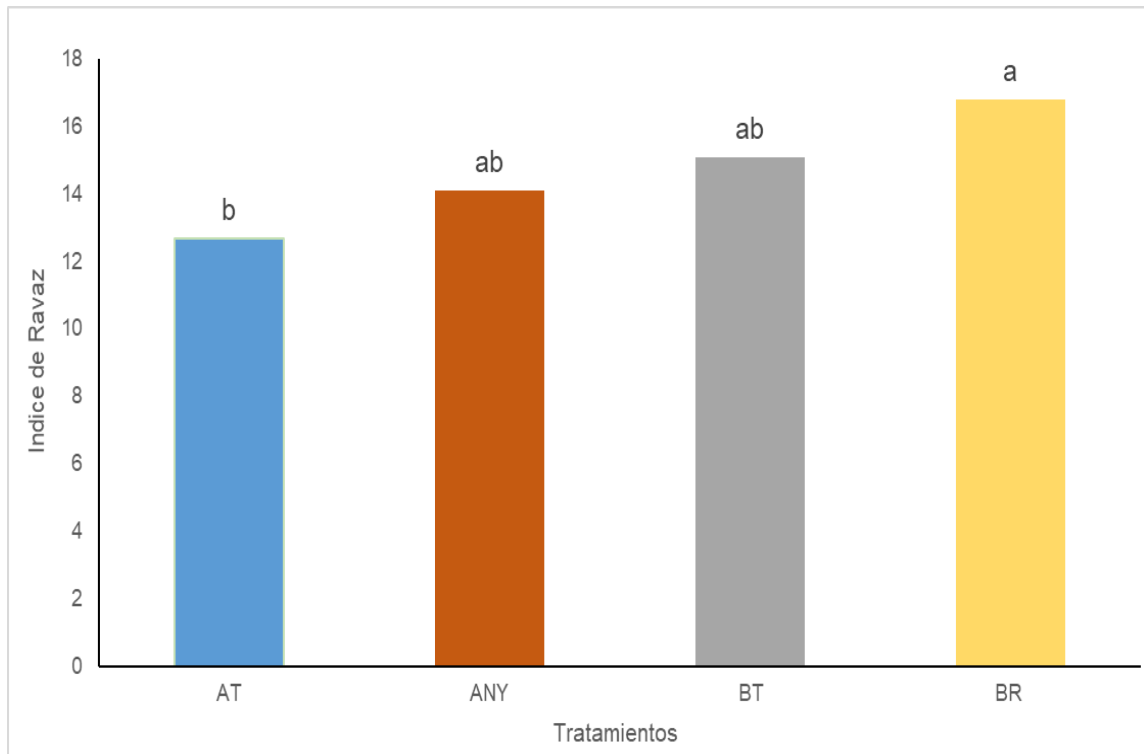
Letras iguales no presentan diferencias significativas ($\alpha= 0,05$). AT= alto testigo. ANY= alto nylon. BT= bajo testigo. BR= bajo riego.

4.6. ÍNDICES DE RESPUESTA FISIOLÓGICA

4.6.1. Índice de Ravaz

El índice de Ravaz (IR) es un indicador del equilibrio fisiológico de la planta. Los tratamientos evaluados mostraron diferencias estadísticas ($p= 0,024$), donde los mayores valores los presenta el BR con valores de 17 y los menores AT con 13. Los tratamientos ANY y BT presentan valores intermedios con 14 y 15, respectivamente. En ninguno de los tratamientos hay plantas equilibradas

presentando producción en exceso en comparación al crecimiento de la madera (Figura 23).

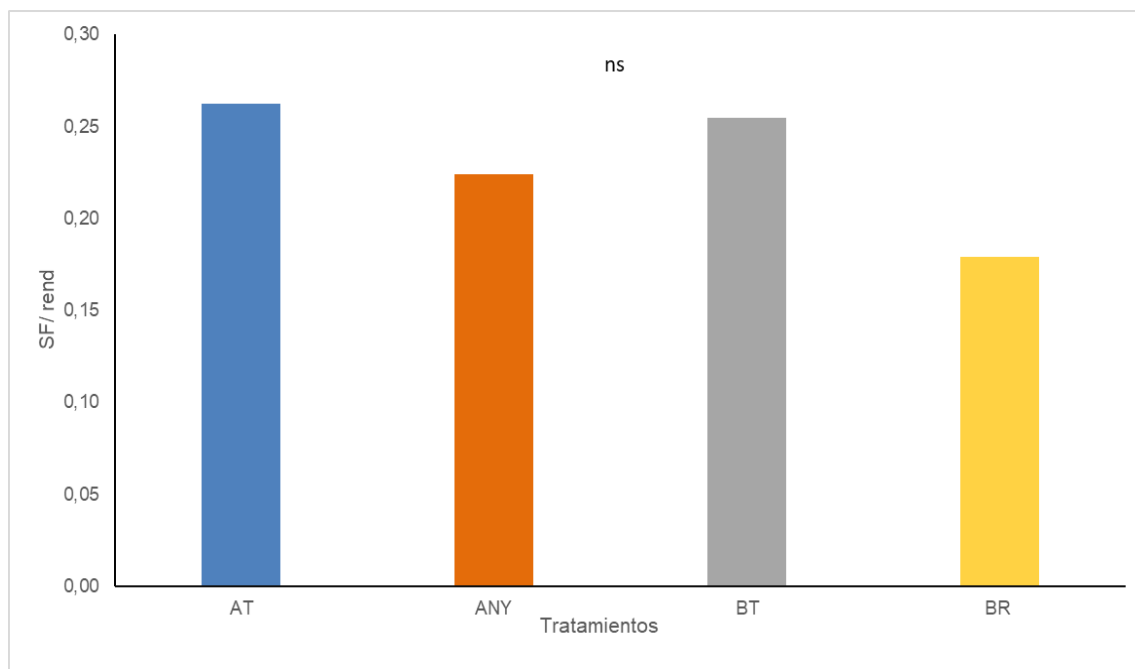


Medias con igual letra no presentan diferencias significativas ($\alpha = 0,05$). AT= alto testigo. ANY= alto nylon. BT= bajo testigo. BR= bajo riego.

Figura 23. Índice de Ravaz promedio por tratamiento

4.6.2. Superficie foliar / rendimiento

Otro índice de respuesta evaluado es la relación entre la superficie foliar y el rendimiento, los tratamientos no presentan diferencias significativas ($p = 0,2$), con un promedio de $0,25 \text{ m}^2/\text{kg}$. Este resultado muestra que las plantas presentan mayor rendimiento con relación a la superficie foliar (Figura 24).



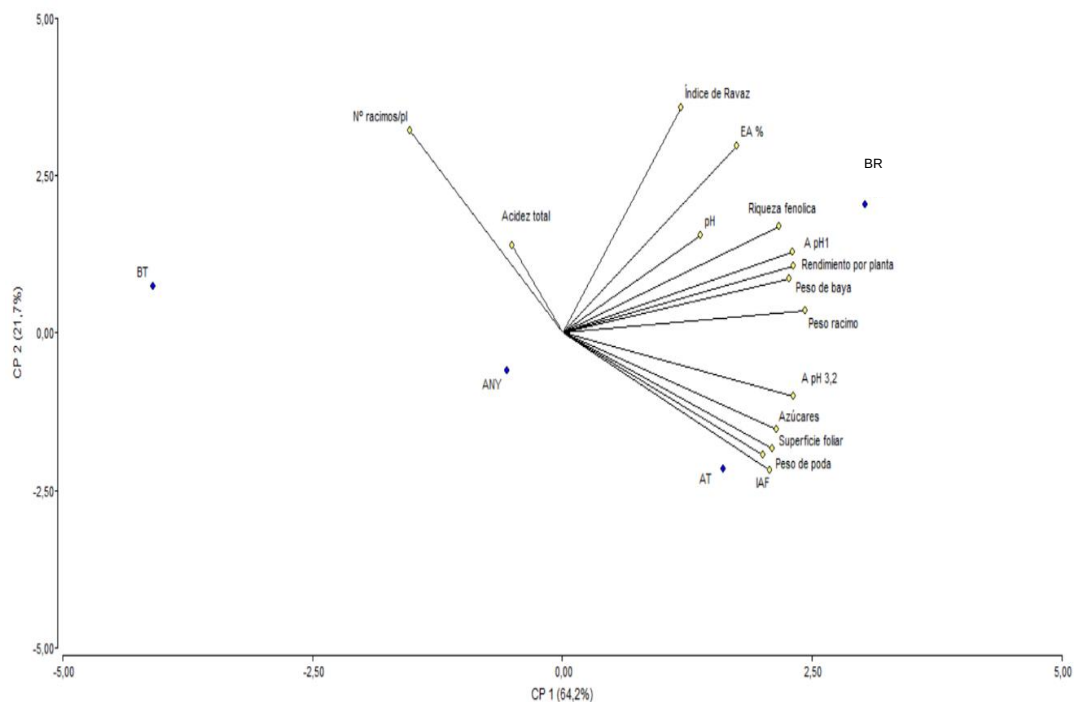
Medias con igual letra no presentan diferencias significativas ($\alpha = 0,05$). AT= alto testigo. ANY= alto nylon. BT= bajo testigo. BR= bajo riego.

Figura 24. Relación superficie foliar/ rendimiento (m^2/kg) promedio por tratamiento

4.7. ANÁLISIS DE COMPONENTES PRINCIPALES

El análisis de componentes principales se observa en la Figura 25. La representación de las variables que caracterizan la expresión vegetativa (IAF, SF, peso de poda, índice de Ravaz), la composición en cosecha (azúcares, pH, acidez total, riqueza fenólica, ApH1, ApH 3,2, EA %) y el rendimiento y sus componentes (rendimiento por planta, número de racimos por planta, peso de baya, peso de racimo) explican el 86 % de la varianza total. Donde el componente 1 explica el 64,2 % y el componente 2 21,7 %.

Se observa que el tratamiento regado (BR) se asocia positivamente con un mayor pH, riqueza fenólica, rendimiento, peso de baya y peso de racimo. Por otro lado, AT presenta una asociación positiva con el contenido de azúcares, SF, peso de poda y IAF. El tratamiento bajo testigo (BT), se asocia negativamente con acidez total y No. de racimos por planta, mientras que el ANY no presenta asociaciones con ninguna variable.



AT= alto testigo. ANY= alto nylon. BT= bajo testigo. BR= bajo riego.

Figura 25. Análisis diagrama de componentes principales

	No. r/pl	Rend	P racimo	P baya	Azúcares	Ac.T	pH	SF	IAF	A pH 1	A pH 3,2	RF	Pp	IR	EA
No. r/pl	1	0,6442	0,471	0,641	0,119	0,447	0,790	0,206	0,105	0,619	0,188	0,800	0,192	0,701	0,906
Rend	-0,36	1	0,020	0,006	0,338	0,911	0,539	0,267	0,305	0,072	0,222	0,013	0,241	0,381	0,151
P racimo	-0,53	0,98	1	0,030	0,205	0,933	0,500	0,188	0,193	0,064	0,116	0,063	0,158	0,476	0,235
P baya	-0,36	0,99	0,97	1	0,370	0,830	0,64	0,227	0,283	0,118	0,252	0,022	0,208	0,449	0,193
Azúcares	-0,88	0,66	0,79	0,63	1	0,401	0,403	0,229	0,116	0,241	0,014	0,455	0,188	0,813	0,639
Ac.T	0,55	0,09	-0,07	0,17	-0,6	1	0,323	0,996	0,776	0,762	0,511	0,821	0,943	0,973	0,903
pH	-0,21	0,46	0,5	0,36	0,6	-0,68	1	0,962	0,814	0,243	0,385	0,542	0,891	0,251	0,351
SF	-0,79	0,73	0,81	0,77	0,77	-4E-03	0,04	1	0,025	0,4252	0,199	0,374	0,003	0,932	0,735
IAF	-0,9	0,7	0,81	0,72	0,88	-0,22	0,19	0,98	1	0,3867	0,111	0,428	0,015	0,940	0,763
A pH 1	-0,38	0,93	0,94	0,88	0,76	-0,24	0,76	0,57	0,61	1	0,1517	0,089	0,376	0,251	0,12
A pH 3,2	-0,81	0,78	0,88	0,75	0,99	-0,49	0,62	0,8	0,89	0,85	1	0,322	0,158	0,694	0,5
RF	-0,2	0,99	0,94	0,98	0,54	0,18	0,46	0,63	0,57	0,91	0,68	1	0,348	0,292	0,89
Pp	-0,81	0,76	0,84	0,79	0,81	-0,06	0,11	1	0,98	0,62	0,84	0,65	1	0,982	0,69
IR	0,3	0,62	0,52	0,55	0,19	-0,03	0,75	-0,07	-0,06	0,75	0,31	0,71	-0	1	0,06
EA	0,09	0,85	0,76	0,81	0,36	0,10	0,65	0,26	0,24	0,88	0,50	0,91	0,31	0,94	1

No. r/pl= No. de racimos/planta. Rend= rendimiento. P racimo= peso de racimo. P baya= peso de baya. Ac T= acidez Total. SF= superficie foliar. ApH1 y ApH3,2 = antocianos totales y extraíbles. Pp= peso de poda. IR= índice de Ravaz. EA= extractibilidad.

En el análisis de las variables evaluadas en enero y cosecha (Figura 26) se observa que el rendimiento se correlaciona positivamente con peso de racimo $r = 0,98$ ($p = 0,020$), peso de baya $r = 0,99$ ($p = 0,006$), antocianos potencialmente extraíbles $r = 0,93$ ($p = 0,072$) y riqueza fenólica $r = 0,99$ ($p = 0,013$). A su vez, la riqueza fenólica se correlaciona positivamente con peso de racimo $r = 0,94$ ($p = 0,063$), peso de baya $r = 0,98$ ($p = 0,022$) y antocianos potencialmente extraíbles $r = 0,91$ ($p = 0,089$). En variables relacionadas con el crecimiento vegetativo, SF se relaciona significativa y positivamente con peso de poda $r = 1$ ($p = 0,003$) y IAF con peso de poda $r = 0,98$ ($p = 0,015$).

Figura 26. Matriz de correlaciones (coeficientes/probabilidades) entre variables evaluadas

5. DISCUSIÓN

5.1. CARACTERIZACIÓN CLIMÁTICA

Los índices bioclimáticos del ciclo de estudio confirman que la región es de clima templado a cálido, con noches templadas y sequía moderada, concordando con Ferrer et al. (2007).

La temperatura máxima promedio de la zona de estudio (29,5 ° C) no es restrictiva para los procesos fisiológicos como la fotosíntesis. Según Keller et al. (2015) una temperatura entre 25 - 30 ° C permite un crecimiento vegetativo normal, así como temperaturas mayores a 37 ° C limitan la fotosíntesis, no siendo este el caso. La maduración de la baya requiere temperaturas entre 25 – 30 ° C para ser óptima (Bergqvist et al. 2001, Spayd et al. 2002, Mori et al. 2007, Ferrer et al. 2020) y en este ciclo de estudio las mismas no fueron mayores al límite superior por lo que la temperatura no limitó la maduración; a su vez la temperatura promedio no afectó negativamente la síntesis de compuestos polifenólicos, ya que según Martínez de Toda (2007), Ferrer et al. (2017) el óptimo de temperaturas para el desarrollo de color se encuentra en el rango de 15 - 25 ° C, si supera los 35 ° C se inhibe la formación de antocianos (Mori et al., 2007) lo que no sucedió en este estudio.

Las precipitaciones acumuladas durante el período de crecimiento del cultivo son menores a las registradas en la serie histórica, caracterizando al ciclo de estudio como seco, 33 % menos de precipitaciones (Cuadro 3). Aun así, los requerimientos hídricos totales para el ciclo de la vid son abastecidos en acuerdo con Deloire y Pellegrino (2021), con acumulados de 473 mm comprendidos en el rango reportado entre 450-550 mm. El balance hídrico evaluado por período fenológico (Cuadro 3) muestra que, desde brotación a floración la demanda atmosférica es abastecida, sin ser un condicionante para el desarrollo de la canopia (Ojeda et al. 2002, Ferrer et al. 2008, Bernard 2016). Sin embargo, desde floración a cosecha la demanda atmosférica no es abastecida, con diferencias entre tratamientos. El tratamiento con riego, es el que logra un balance hídrico más favorable entre floración- envero, en contraposición a los demás. Por otro lado, el tratamiento con nylon (ANY) presenta un déficit hídrico más acentuado de envero a cosecha, ya que es el período en donde las plantas están cubiertas con el nylon y se les impide la entrada de agua. Esta respuesta confirma que los efectos buscados con la aplicación de los tratamientos se logran, dependiendo de la variabilidad anual, ya sea restringiendo la entrada de agua (con el nylon) o aumentando su disponibilidad (con el riego).

Las diferencias encontradas entre los tratamientos evaluados en cuanto al balance hídrico se relacionan con las determinaciones del potencial hídrico de base a lo largo del ciclo de cultivo (Figura 16). Esto confirma que, la condición de secano (habitual en la viticultura del país), aumenta la vulnerabilidad del cultivo, principalmente en la etapa de maduración en años secos como lo ocurrido en el ciclo 2019-2020. Esta situación podría estar ligada al tipo de suelo y debería ser considerada para tomar la decisión de colocar riego o no, en una determinada parcela.

Al analizar los registros micro climáticos, temperatura y humedad relativa no se visualizan efectos entre los tratamientos, por lo tanto, las diferencias en este estudio se explican mayormente por el componente hídrico y no por el térmico. En cuanto al componente lumínico, se observan diferencias principalmente con el tratamiento bajo testigo mostrando una mayor luminosidad, dado principalmente a que este tratamiento muestra menor superficie vegetativa respecto a los demás, evidenciado por las mediciones de superficie foliar e índice de área foliar. Esta repuesta despierta el interés de registrar y evaluar la temperatura del suelo, para determinar la incidencia o el efecto de utilizar nylon en cobertura, medición no contemplada en este estudio.

5.2. INFLUENCIA DEL AGUA EN LA EXPRESIÓN VEGETATIVA

El tratamiento regado (BR), con restricción hídrica media a progresiva durante todo el ciclo del cultivo, permite una normal u óptima expresión vegetativa (Figuras 11 y 12), un buen desarrollo de la baya (Figura 19) y de la actividad fotosintética (Figura 17), coincidiendo con Bernard et al. (2004), Ojeda et al. (2007). Estos autores plantean que con restricción hídrica media a progresiva se permite un buen desarrollo vegetativo, crecimiento de la baya, fotosíntesis y maduración de la baya normal y estimulada. Esa condición hídrica incide en una mayor expresión vegetativa y por ende, mayor vigor en el tratamiento BR, en contraste al testigo BT (Figuras 9,11 y 12). El mayor crecimiento vegetativo del tratamiento regado se observa por una evolución del IAF superior al resto de los tratamientos, mayor SF y a su vez un número de capas de hojas mayor en comparación al tratamiento testigo de la zona de bajo vigor. Los mayores valores de SF en el tratamiento regado, ubicado en la zona de bajo vigor, responden a un mayor aporte hídrico durante el ciclo. Esto se comprueba al comparar los menores valores de SF encontrados en el bajo testigo, dado que tiene el mismo tipo de suelo que el tratamiento regado en acuerdo a lo mencionado por Ferrer et al. (2019), Pereyra et al. (2019). La actividad fotosintética del tratamiento regado (BR) no se diferencia estadísticamente de los demás tratamientos en la zona de alto vigor (AT y ANY), sugiriendo que la aplicación de riego logra

compensar y permite una uniformización del vigor en la parcela. Además, en el tratamiento BR las plantas no tuvieron la necesidad de cerrar los estomas para evitar la pérdida de agua por evapotranspiración, observándose una mayor conductancia estomática en acuerdo con Zufferey et al. (2018). La apertura y cierre estomático está controlado por las condiciones hídricas entre otros condiciones climáticas (Simonneau et al., 2017), al existir un estrés hídrico alto, la conductancia estomática disminuye ya que los estomas permanecen cerrados para evitar pérdidas de agua por evapotranspiración. En el caso del tratamiento regado esto no sucede por el aporte razonado de agua que le permite a la planta poder cubrir la demanda atmosférica. Por otro lado, al estar los estomas abiertos, se permite el ingreso de dióxido de carbono (Winkler 1974, Smart y Robinson 1991, Simonneau 2017) y una mayor fotosíntesis en comparación a los demás tratamientos. Al considerar el crecimiento de pámpanos a lo largo del ciclo (Figura 9), si bien el riego no se diferencia significativamente de los demás tratamientos, el aporte hídrico logra un aumento del crecimiento a partir de enero. Esto muestra que el aporte de agua le permite a la planta continuar con el crecimiento vegetativo, manifestándose así un solapamiento de esta fase con la maduración de la baya, en acuerdo con Poni (2008). Este plantea que dependiendo del vigor de las plantas se pueden modificar los procesos de brotación y maduración de la baya dándose un solapamiento de estos. En líneas generales y considerando todo el ciclo del cultivo, el tratamiento regado (BR), se asocia a un mayor crecimiento vegetativo, mayores valores de peso de madera, sugiriendo un mayor vigor, sin diferenciarse estadísticamente de las plantas de la zona de alto vigor (AT y ANY).

Los tratamientos de la zona de alto vigor, AT y ANY, con restricciones hídricas catalogadas de media a fuerte y progresiva, mantienen el buen desempeño en su expresión vegetativa, crecimiento de baya y fotosíntesis (Bernard et al. 2004, Ojeda et al. 2007). Los mayores valores de fotosíntesis de estos tratamientos se asocian con una mayor expresión vegetativa, evidenciada por la SF (Chaves et al., 2007) y el número de capas de hojas.

El tratamiento BT con restricción hídrica fuerte a muy fuerte durante el ciclo, implica una reducción a nivel de expresión vegetativa coincidiendo con Kyrleou et al. (2015), Zufferey et al. (2018), quienes plantean que se reduce el área foliar por déficit hídrico en plantas no regadas. A su vez se da una disminución del vigor en plantas con restricciones hídricas, que efectivamente sucede en este tratamiento (Figuras 11 y 12). Esto se observa por los menores valores de IAF, SFE y por presentar menor capas de hojas en comparación al resto de los tratamientos. A su vez al observar el porcentaje de racimos internos, este tratamiento es menor, como consecuencia de un área foliar reducida, ocasionando que los racimos se presentan más expuestos en la vegetación. La

condición hídrica de BT también incide en el crecimiento de la baya (Figura 19) y en la actividad fotosintética (Figura 17), pudiendo implicar, además, un bloqueo de la maduración (Figuras 20 y 22), según Van Leeuwen y Vivin (2008) quienes reportan que restricciones hídricas fuertes a muy fuertes y prolongadas en el tiempo, afectan negativamente la composición y calidad final de la baya. El menor vigor presente en el tratamiento BT podría ser explicado por las propiedades físicas y químicas del suelo, que podrían determinar una baja capacidad de reserva hídrica según Filippetti et al. (2013), Ferrer et al. (2019), Gatti et al. (2021). La fotosíntesis y la conductancia estomática muestran que, el bajo vigor (BT) presenta los menores valores, como consecuencia de las restricciones hídricas a lo largo del ciclo. En respuesta a un déficit hídrico severo, las plantas ejercen un cierre estomático de las hojas para evitar pérdidas de agua por evapotranspiración, ocasionando a su vez, una disminución en la fotosíntesis (Zufferey et al., 2018). El menor vigor de BT respecto a los demás tratamientos, se comprueba además con los valores del peso de poda (Cuadro 6), en concordancia con Chaves et al. (2007), Ferrer et al. (2019) reportando que plantas en zonas de bajo vigor presentan menor peso de poda. A su vez al observar el número de capas de hojas a través de la técnica de point quadrat, este tratamiento tiene la menor cantidad de capas de hojas, mostrando su menor vigor frente a los demás tratamientos.

5.3. INFLUENCIA DEL AGUA EN LA MADURACIÓN Y COSECHA

El tratamiento bajo testigo (BT) presenta los menores valores de acumulación de azúcares durante la maduración y en cosecha (Figura 20 y Cuadro 7), coincidiendo con Miras Avalos et al. (2019). Estos autores plantean que plantas en secano presentan menor contenido de azúcares, mientras que Ferrer et al. (2019) reportan que plantas con un vigor bajo logran mayor acumulación de azúcares, en contraposición a los resultados de este estudio. La acumulación de azúcares se relaciona con los potenciales hídricos medidos, estos muestran que BT a lo largo de la maduración de la baya mantuvo restricciones hídricas fuertes a muy fuertes afectando la acumulación; en este tratamiento la expresión foliar es menor, además de que las plantas presentan desequilibrio fisiológico por exceso de producción. En contraposición, el tratamiento regado (BR) presenta a lo largo de la maduración y en cosecha (Figura 20 y Cuadro 7) valores altos en contenido de azúcares (mg/baya), en acuerdo con Kyraleou et al. (2015), mostrando a su vez el efecto hídrico en este parámetro; en donde un riego razonado le permite a la planta una mayor acumulación de azúcares, por una mayor expresión vegetativa. El tratamiento BR no se diferenció con AT y ANY. Las restricciones hídricas medias a fuertes y progresivas en AT y ANY en instancias próximas a cosecha, estimulan la acumulación de azúcares (Bernard et al. 2004, Ojeda 2007, Zufferey 2018).

Desde el punto de vista fisiológico la cantidad de azúcares (mg/baya) es mayor en el tratamiento regado, y en contraposición el bajo testigo obtiene menores cantidades. Aquí se observa el efecto del agua principalmente en la expresión vegetativa de la planta, permitiéndole una mayor fotosíntesis y por lo tanto mayor acumulación de azúcares.

La acidez no muestra diferencias entre los tratamientos en la maduración y en cosecha, en desacuerdo con Ferrer et al. (2019). Estos autores reportan que plantas en zonas de alto vigor logran valores de acidez superiores a plantas en zonas de bajo vigor. Los racimos más sombreados en respuesta a una mayor vegetación, disminuyen la tasa respiratoria incidiendo en el consumo de ácidos, determinando una mayor acidez de las bayas y un pH menor. A su vez Chaves et al. (2007) plantean que plantas regadas logran mayores valores de acidez. Para el caso de los tratamientos evaluados no se observan tales diferencias reportadas por estos autores. Los valores de pH muestran los menores registros en cosecha en los tratamientos BT y ANY, en contraposición con Ferrer et al. (2019), quienes reportan que plantas en zonas de bajo vigor presentan altos niveles de pH. En cuanto a los tratamientos AT y BR muestran un aumento del pH en el último tramo de la maduración, lo que podría estar explicado por un aumento de la restricción hídrica en esa etapa (Figura 22 y Cuadro 7).

A partir de los resultados de composición primaria de la uva, en donde BR presenta 215 g de azúcares, 3,09 de pH y 6,91 g $\text{H}_2\text{SO}_4/\text{L}$ de acidez total; AT 222 g de azúcares, 3,0 de pH y 6,79 g $\text{H}_2\text{SO}_4/\text{L}$ de acidez total, son estos los tratamientos que más se aproximan a los valores óptimos de cosecha según lo reportado por González-Neves et al. (2003, 2005, 2012). Estos autores plantean los siguientes valores para Tannat: mayores a 215 g de azúcares, 3,30-3,58 de pH y 4,0-5,0 g $\text{H}_2\text{SO}_4/\text{L}$ de acidez total. Por otro lado, se observa (Figuras 20, 22 y Cuadro 7) un bloqueo en la maduración de los tratamientos BT y ANY coincidiendo con lo reportado por Van Leeuwen y Vivin (2008).

Los componentes del metabolismo secundario muestran que, BR logra altos valores de índice de polifenoles totales, coincidiendo con Price et al. (1995), estos autores reportan que la concentración de polifenoles es favorecida por un crecimiento moderado de la baya, buena luminosidad y temperaturas dentro de los rangos óptimos, condiciones que se dan en este tratamiento. A su vez estos autores plantean que el agregado de agua permite un mayor desarrollo foliar, asociado a una mayor acumulación de IPT. Los antocianos totales (pH1) son mayores en el tratamiento con riego, en contraposición con Chaves et al. (2007), Kyraleou et al. (2015) quienes plantean que plantas en secano logran una mayor acumulación. Los tratamientos AT y BR son iguales estadísticamente comprobando que el aporte de agua logra homogeneizar la canopia y por lo tanto

parámetros de calidad enológica. Según Ferrer et al. (2019) la zona de alto vigor presenta mayor concentración de antocianos, mientras que los valores más bajos se registran en el tratamiento BT, coincidiendo con Miras Avalos et al. (2019), explicado por las condiciones hídricas de la planta que condicionan el desarrollo del vigor.

5.4. INFLUENCIA DEL AGUA EN EL RENDIMIENTO Y SUS COMPONENTES

La evolución y el peso de baya en cosecha, muestra un efecto del agregado de agua sobre la zona de bajo vigor, evidenciado por los mayores valores de BR (Figura 19 y Cuadro 6). En contraposición, BT presenta los menores pesos de baya, en acuerdo con Kyrleou et al. (2015) que reportan una reducción en el rendimiento en plantas que presentan estrés, siendo el caso de BT, y por lo tanto un menor rendimiento. El agregado de agua logra aumentar el vigor de las plantas repercutiendo en un mayor rendimiento final, tal como se observa en BR. En este último tratamiento las condiciones hídricas dadas por el uso de riego razonado le permitieron a la planta un aumento del rendimiento en comparación a BT, este presenta restricciones hídricas altas en la primera etapa de desarrollo de la baya que es cuando la misma aumenta de tamaño, volumen y peso (Conde et al., 2007). Es en el período de cuajado en donde se define el tamaño final de las bayas por división celular, lo cual repercute en el rendimiento final siendo fundamental disponibilidad hídrica en este período (Ferrer et al., 2019), explicando la diferencia de rendimientos entre el tratamiento regado y el testigo. El aumento del rendimiento se explica por un aumento del peso de racimo y por consiguiente del peso de la baya (Cuadro 6) ya que se mantiene el número de racimos entre los tratamientos.

El valor del índice de Ravaz como indicador fisiológico muestra que las plantas presentan un desequilibrio en todos los tratamientos evaluados, según lo reportado, con valores de 6 y 8 de este índice para la variedad Tannat (Ferrer et al., 2007). El tratamiento BR presenta el mayor desequilibrio fisiológico, mientras que AT el menor, en concordancia con las relaciones SF/ rendimiento (Figura 24).

La aplicación de nylon en la zona de alto vigor con el objetivo de restringir el agua a la planta de envero a cosecha, no muestra efectos significativos en comparación al tratamiento testigo en la zona de alto vigor. El ciclo 2019-2020 se lo cataloga como seco, con pocas precipitaciones principalmente en la etapa de maduración. No se logra efecto sobre el vigor de la planta y tampoco sobre la composición química de la baya. Por otro lado se ve una respuesta en el aporte razonado de agua en la zona de bajo vigor. En cuanto a la respuesta hídrica, los potenciales foliares de base permiten catalogar a las plantas con restricciones hídricas medias, por lo que el estrés hídrico de estas plantas es menor a las del resto de la parcela. Como consecuencia, las plantas logran un mayor desarrollo foliar, observado principalmente en el IAF, la superficie foliar, mayor capas de hojas y mayor peso de poda, concluyendo que son plantas con una mayor canopia en comparación a las plantas no regadas en la zona de bajo vigor. También se observa que las plantas logran una mayor fotosíntesis y a su vez la conductancia estomática es mayor al resto de los tratamientos. En cuanto a los componentes químicos de la baya, el aporte razonado de agua le permite a la planta una mayor acumulación de sólidos solubles, pH y peso de baya. En cuanto a los metabolitos secundarios este tratamiento muestra los mayores valores de IPT, ApH 1 y ApH 3,2, por lo que se incide también en componentes de calidad de la uva de manera favorable. A su vez es el tratamiento con mayor rendimiento como consecuencia de un mayor peso de baya y de racimo. A partir de todos los resultados obtenidos, el aporte razonado de agua en plantas con bajo vigor permite una uniformización del crecimiento vegetativo con las plantas de alto vigor y también en la composición química de la baya. Estos resultados son esperados partiendo de la base que la disponibilidad hídrica en la planta es un factor determinante de su crecimiento, de la maduración y composición de la baya. Por otro lado, al analizar el equilibrio filológico de las plantas mediante el índice de Ravaz, las plantas del tratamiento regado son las que presentan mayor desequilibrio fisiológico, en consecuencia, de un exceso de producción.

6. CONCLUSIONES

- La disponibilidad hídrica del suelo es uno de los factores que condiciona la expresión vegetativa de la planta, su rendimiento y composición química. El riego controlado permite un mayor desarrollo foliar, en consecuencia, un aumento del rendimiento por mayor peso de baya y por lo tanto de racimo. La composición química de la baya se ve favorecida por el riego razonado en plantas de bajo vigor, observándose un aumento en la acumulación de azúcares y valores mayores en polifenoles totales y antocianos.

- En la zona de alto vigor la restricción de agua con la cobertura del suelo con nylon no logra modificar el crecimiento vegetativo, el productivo, así como tampoco la composición de la baya, por tratarse de un año seco.

- El aporte de agua a través de riego controlado podría uniformizar la composición química de la uva en una parcela con diferentes vigores, acosta de un desequilibrio fisiológico. Por lo que se recomendaría estudiar el aporte nutricional del suelo en la zona de bajo vigor.

- Las prácticas de manejo como el riego razonado o el uso de nylon en cobertura, para afrontar o mitigar la variabilidad hídrica se ajustarían en función de las condiciones climáticas del año en cuestión.

7. RESUMEN

La disponibilidad hídrica afecta el desarrollo de la planta, determinando su expresión vegetativa como productiva, definiendo a su vez, la composición final de la baya, por lo que es de suma importancia conocer y atender los requerimientos hídricos, en función del producto a obtener. El objetivo de este estudio fue evaluar a nivel de una parcela, el efecto de la disponibilidad hídrica en dos situaciones de vigor en *Vitis vinifera* cv Tannat L. evaluado sobre los componentes vegetativos, productivos y la composición de la uva. Se llevó a cabo en un viñedo comercial en el departamento de Canelones, durante el ciclo productivo 2019-2020. En la variedad Tannat injertada sobre SO₄, conducida en espaldera con poda guyot, en condiciones de secano. En la parcela general del ensayo se determinaron dos zonas de distinto vigor (alto y bajo) definidas mediante técnicas de agricultura de precisión; en base a ello que se definen dos tratamientos en cada zona. En la zona de alto vigor un testigo comercial (AT), con el manejo estándar del productor en secano y otro en donde se realizó una cobertura del suelo (ANY) con polietileno blanco desde envero (E-L 35) hasta cosecha (E-L 38) con el objetivo de impedir la entrada de agua de lluvias. En la zona de bajo vigor un testigo comercial (BT) con el manejo estándar del productor en secano, y un tratamiento con la aplicación de riego (BR), para mantener a la planta en un estrés hídrico moderado (75% de la ETP). El diseño experimental fue en bloques completamente al azar (DBCA), cada tratamiento contó con 3 repeticiones. Los datos se analizaron estadísticamente comparando los cuatro tratamientos evaluados a partir de análisis de varianza con una significancia del 5 %. El aporte de agua permitió un mayor desarrollo foliar, y de fotosíntesis, además disminuyó las restricciones hídricas. El tratamiento regado (BR), se asocia a un mayor crecimiento vegetativo, mayores valores de peso de madera, sugiriendo un mayor vigor. El menor vigor presente en el tratamiento BT puede ser explicado por las características del suelo, que determinan una baja capacidad de reserva hídrica. A partir de los resultados de composición primaria de la uva, los tratamientos BR y AT son los que más se aproximan a los valores óptimos de cosecha. Se constató además un bloqueo en la maduración de los tratamientos BT y ANY. Los componentes del metabolismo secundario muestran que, BR logra altos valores de índice de polifenoles totales y antocianos totales. El aumento del rendimiento se explica por un aumento del peso de racimo y por del peso de la baya principalmente en BR. El aumento de la disponibilidad hídrica durante todo el ciclo incide favorablemente sobre el vigor de las plantas, el rendimiento y la composición química de la baya. Las practicas aplicadas estarán en función de las condiciones climáticas del año.

Palabras clave: Vigor; Riego razonado/restricción hídrica; Tannat; Respuesta fisiológica; Composición química; Manejo sitio- específico.

8. SUMMARY

Water availability affects the development of the plant, determining its vegetative and productive expression, defining in turn, the final composition of the berry, so it is of utmost importance to know and meet the water requirements, depending on the product to be obtained. The objective of this study was to evaluate, at the plot level, the effect of water availability in two situations of vigor in *Vitis vinifera* cv Tannat L. evaluated on vegetative and productive components and grape composition. It was carried out in a commercial vineyard in the department of Canelones, during the 2019-2020 production cycle. In the Tannat variety grafted on SO4, trained on trellises with guyot pruning, under rainfed conditions. In the general trial plot, two zones of different vigor (high and low) were defined using precision agriculture techniques; based on this, two treatments were defined in each zone. In the high vigor zone, a commercial control (AT), with the producer's standard rainfed management, and another in which the soil was covered (ANY) with white polyethylene from veraison (E-L 35) to harvest (E-L 38) in order to prevent the entry of rainwater. In the low vigor zone, a commercial control (BT) with the producer's standard dryland management, and a treatment with the application of irrigation (BR), to maintain the plant in moderate water stress (75% of the ETP). The experimental design was a completely randomized block design (DBCA), with 3 replicates for each treatment. The data were analyzed statistically comparing the four treatments evaluated by analysis of variance with a significance of 5%. The water supply allowed for greater leaf development and photosynthesis, and also reduced water restrictions. The irrigated treatment (BR) was associated with greater vegetative growth, higher wood weight values, suggesting greater vigor. The lower vigor present in the BT treatment can be explained by the soil characteristics, which determine a low water reserve capacity. From the results of the primary composition of the grapes, the BR and AT treatments are the closest to the optimum harvest values. A blockage in the ripening of the BT and ANY treatments was also observed. The components of secondary metabolism show that BR achieves high values of total polyphenol index and total anthocyanins. Yield increase is explained by an increase in bunch weight and berry weight mainly in BR. The increase in water availability throughout the cycle has a favorable effect on plant vigor, yield and berry chemical composition. The practices applied will depend on the climatic conditions of the year.

Key words: Vigor; Reasoned irrigation/restriction; Tannat; Physiological response; Chemical composition; Site-specific management.

9. BIBLIOGRAFÍA

1. Aleixandre, J. L.; Giner, J. F.; Aleixandre–Tudó J. L. 2013. Evaluación del efecto terroir sobre la calidad de la uva y el vino. *Enoviticultura*. 20:2-11.
2. Álvarez, T. 1909. *Viticultura general*. Montevideo, Dormaniche y Reyes. 322 p.
3. Andrades, M. 1990. Fisiología de la maduración de la uva. *Viticultura y Enología Profesional*. no. 9:21- 30.
4. Baeza, P.; Bartolomé, M. C.; Sotés, V.; Ruiz, C.; Lissarrague, J. R. 1999. Diferencias en la superficie foliar de cuatro sistemas de conducción de la vid y sus consecuencias en el desarrollo y la producción. *Investigación Agraria, Producción y Protección Vegetal*.14 (1-2):174-190.
5. _____.; Junquera, P.; Peiro, E.; Lissarrague, J. R.; Uriarte, D.; Vilanova, M. 2019. Effects of vine water status on yield components, vegetative response and must and wine composition. *In: Morata, A.; Loira, I. eds. Advances in Grape and Wine Biotechnology*. London, IntechOpen. pp. 1-22.
6. 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 Viticulture*. 52 (1):1-7.
7. Bernard, N.; Zebic, O.; Deloire, A. 2004. Estimation de l'état hydrique de la vigne par la mesure de la température foliaire: un outil au service des professionnels. *Le Progrès Agricole et Viticole*. 23:539-542.
8. _____. 2016. Régime hydrique de la vigne et maîtrise de l'irrigation. *Revue Française d'Enologie*. 276:4-7.
9. Blouin, J.; Guimberteau, G. 2000. *Maturation et maturité des raisins*. Bourdeaux, Feret Merignac Cedec. 151 p.

10. Bonilla, I.; Martínez de Toda, F.; Martínez-Casasnovas, J. A. 2015. Vine vigor, yield and grape quality assessment by airborne remote sensing over three years: analysis of unexpected relationships in cv. Tempranillo. *Spanish Journal of Agricultural Research*. 13 (2):1-8.
11. Carbonneau, A.; Casteran, P. 1987. Interaction "training system x rootstock" with regard to vine ecophysiology, vigor, yield, and red wines. Quality in the Bordeaux area. *Acta Horticulturae*. no. 206:199-140.
12. _____. 1996. Interaction "Terroirs x Vigne": facteurs de maîtrise du micro- environnement et de la physiologie de la plante en rapport avec le niveau de maturité et les éléments de typicité. In: *Colloque International Les Terroirs Viticoles (1^{ème}, 1996, Angers)*. Concept produit valorisation. Angers, France, s.e. pp. 147-153.
13. _____. 2004. Incidence de la secheresse et de la chaleur sur la physiologie de la vigne et la maturation du raisin. (en línea). *Wine Technical Journal*. no. 6:s.p. Consultado 23 set. 2021. Disponible en <http://www.vinidea.net>.
14. _____.; Deloire, A.; Jaillard, B. 2007. *La vigne: physiologie, terroir, culture*. Paris, Dunod. 442 p.
15. _____.; Torregrosa, L.; Deloire, A.; Pellegrino, A.; Pantin, F.; Romeieu, C.; Ojeda, H.; Jaillard, B.; Metay, A.; Abbal, P. 2020. *Traité de la vigne*. 3^{ème}. ed. Paris, Dunod. 689 p.
16. Catania, C.; Avagnina, S. 2007. La maceración. In: *Curso de degustación de vinos*. Mendoza, INTA. pp. 1-11.
17. Chaves, M. M.; Santos, T. P.; Souza, C. R.; Ortun, M. F.; Rodrigues, M. L.; Lopes, C. M.; Maroco, J. P.; Pereira, J. S. 2007. Deficit irrigation in grapevine improves water-use efficiency while controlling vigour and production quality. *Annals of Applied Biology*. no. 150:237-252.
18. Coombe, B. G. 1973. The regulation of set and development of the grape berry. *Acta Horticulturae*. no. 34:261-273.

19. _____.1987. Influence of temperature on composition and quality of grapes. Grapevine canopy and vigor management. Acta Horticulturae. no. 206:23-25.
20. _____. 1992. Research on development and ripening of the grape berry. American Journal of Enology and Viticulture. 43 (1):101-110.
21. _____. 1995. Adoption of a system for identifying grapevine growth stages. Australian Journal of Grape and Wine Research.1 (2):104-110.
22. Conde, C.; Silva, P.; Fontes, N.; Dias, A. C. P.; Tavares, R. M.; Sousa, M. J.; Agasse, A.; Delrot, S.; Gerós, H. 2007. Biochemical Changes throughout Grape Berry Development and Fruit and Wine Quality. Global Science Books Food. 1 (1):1-22.
23. Coulon-Leroy, C.; Neethling, E.; Cadot, Y.; Barbeau, G. 2014. L'eau: déterminant du terroir et de la typicité des produits. Innovations Agronomiques. 38:117-129.
24. Cortell, J. M. 2006. Influence of vine vigor and shading in Pinot noir (*Vitis vinífera* L.) on the concentration and composition of phenolic compounds in grapes and wine. Thesis Doctor of Philosophy in Food Science and Technology. Corvallis, Oregon, USA. Oregon State University. 310 p.
25. De Bei, R.; Fuentes, S.; Gilliam, M.; Tyerman, S.; Edwards, E.; Bianchini, N.; Smith, J.; Collins, C. 2016. VitiCanopy: a Free Computer App to Estimate Canopy Vigor and Porosity for Grapevine. Sensors. 585 (16):2-17.
26. Deloire, A.; Carbonneau, A.; Wang, Z.; Ojeda, H. 2004. Wine and water. A short review. Journal International des Science de la Vigne et du Vin. 38 (1):1-13.
27. _____.; Ojeda, H.; Zebic, O.; Bernard, N.; Hunter, J. J.; Carbonneau, A. 2006. Influencia del estado hídrico del viñedo en el tipo de vino. (en línea). Infowine. Revista Internet de Viticultura y

Enologia.11(1):1-8. Consultado 23 set. 2021. Disponible en <http://www.infowine.com/intranet/libretti/libretto3794-01-1.pdf>

28. _____.; Pellegrino, A. 2021. Review of vine water deficit. What levers for the vineyard in the short and medium term? (en línea). IVES Technical Reviews. set. 2021. s.p. Consultado 10 nov. 2021. Disponible en <https://ives-technicalreviews.eu>
29. Dokoozilian, N.; Kliewer, W. 1995. The light environment within grapevine canopies. I. Description and seasonal changes during fruit development. American Journal of Enology and Viticulture. 46(2):209-218.
30. _____. 2002. Table grape berry growth and development (en línea). Davis, University of California. s.p. Consultado 10 nov. 2021. Disponible en <http://www.cetulare.ucdavis.edu/pub/grape0206.pdf>.
31. Echevarría, N. 2010. Evaluación del interés del Índice Diferencial Normalizado (NDVI) para la definición de unidades de manejo diferenciado del viñedo de La Rioja Alavesa. Navarra, España, Universidad Pública de Navarra. Escuela Técnica de Ingenieros Agrónomos. 81 p.
32. El-Beltagy, H. M. Sh.; Abdel-Nasser, G.; Aly, M. A.; Farid, A. 2017. Effect of Irrigation and Fertigation Strategies on Growth, Yield, Quality and Water Use Efficiency of Drip Irrigated Grapevine. Soil and Water Science. 1:16-39.
33. Etchebarne, F.; Ojeda, H.; Hunter, J. J. 2010. Leaf:fruit ratio and vine water status effects on grenache noir (*Vitis vinifera* L.) berry composition: water, sugar, organic acids and cations. South African Journal of Enology and Viticulture. 31(2):106-115.
34. Ferrer, M.; Gonzáles Neves, G.; Carbonneau, A.; Moutmounet, M. 2003. Composición y color de los vinos provenientes de viñedos de la variedades Tannat conducidos en Lira y en Espaldera. In: Congres Mundial GESCO (13°, 2003, Montevideo, Uruguay). Trabajos presentados. Montevideo, Uruguay, s.e. pp. 158-161.

35. _____.; Pedocchi, R.; Michelazzo, M.; González-Neves, G.; Carbonneau, A. 2007. Delimitación y descripción de regiones vitícolas del Uruguay en base al método de clasificación climática multicriterio utilizando índices bioclimáticos adaptados a las condiciones del cultivo. *Agrociencia (Uruguay)*. 11(1):47-56.
36. _____.; González-Neves, G.; Priore, E.; Montaña, A.; Carbonneau, A. 2008. Los componentes del rendimiento, la expresión vegetativa y los indicadores fisiológicos de *Vitis vinifera* L. cv Merlot en función de la arquitectura de la planta. *Agrociencia (Uruguay)*. 12(1):6-19.
37. _____.; 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.
38. _____.; González-Neves, G.; Echeverría, G.; Camussi, G.; Avondet, R.; Fourment, M.; Favre, G.; Salvarrey, J. 2011. Efecto del estrés climático sobre la respuesta de la planta y la composición de la uva Tannat (*Vitis vinifera* L.) en viñedos del Uruguay. *Revista Enología*. 7:s.p.
39. _____.; 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.
40. _____.; _____.; Miras-Avalos, J. M. 2017. Meteorological conditions: influence on yield, sanitary status and grape composition. *International Journal of Environmental & Agriculture Research*. 8(3):16-27.
41. _____.; _____.; Pereyra, G.; González-Neves, G.; Pan, D.; Mirás-Avalos, J. M. 2019. Mapping vineyard vigor using airborne remote sensing: relations with yield, berry composition and sanitary status under humid climate conditions. s.l., Springer. s.p.

42. _____.; Pereyra, G.; Salvarrey, J.; Arrillaga, L.; Fourment, M. 2020. Tannat' (*Vitis vinifera* L.) as a model of responses to climate variability. *Vitis*. 59:41-46.
43. Fillipetti, I.; Allegro, G.; Valentini, G.; Pastore, C.; Colucci, E.; Intrieri, C. 2013. Influence of vigour on vine performance and berry composition of cv. Sangiovese (*Vitis vinifera* L.). *Journal International des Sciences de la Vigne et du Vin*. 47(1):21-33.
44. Fourment, M.; Ferrer, M.; Quenol, H. 2013. *Vitis vinifera* L. cv. Tannat: respuesta básica del cultivo frente a la variabilidad climática. *Agrociencia (Uruguay)*. 17(2): 24-54.
45. Fregoni, M. 1987. *Viticultura generale: compendi didattici e scientifica*. 2ª ed. Roma, REDA. 728 p.
46. _____.1999. *Viticultura di quilita*. Piacenza, Grafiche/Lama. 707 p.
47. Gatti, M.; Garavani, A.; Squeri, C.; Diti, I.; De Monte, A.; Scotti, C.; Poni, S. 2021. Effects of intra-vineyard variability and soil heterogeneity on vine performance, dry matter and nutrient partitioning. *Precision Agriculture*. 23:150-177.
48. Gil, G. 2001. *Madurez de la fruta y manejo poscosecha: fruta de climas templado y subtropical y uva de vino*. Santiago de Chile, Universidad Católica de Chile. 413 p.
49. Girona, J.; Marsal, J.; Mata, M.; Del Campo, J.; Basile, B. 2009. Phenological sensitivity of berry growth and composition of Tempranillo grapevines (*Vitis vinifera* L.) to water stress. *Australian Journal of Grape and Wine Research*.15:268-277.
50. González-Neves, G. 1999. Color y composición de vinos tintos jóvenes tannat, cabernet y merlot de Uruguay. *Viticultura y Enología Profesional*. no. 64:43 -50.
51. _____.; Ferrer, M.; Carbonneau, A.; Moutmounet, M. 2003a. Composición y color de vinos tintos provenientes de viñedos de la variedad Tannat conducidos en Lira y en Espaldera. *In: Congreso GESCO (13º., 2003, Montevideo)*. Trabajos presentados. Montevideo, Uruguay, s.e. pp.158-161.

52. _____.; Balado, G. J.; Barreiro, L.; Bochicchio, R.; Gatto, G.; Gil, G.; Ferrer, M. 2003b. Efecto de algunas prácticas de manejo del viñedo y de la vinificación en la composición fenólica y el color de los vinos tintos. In: Congresso Brasileiro de Viticultura e Enología (10º., 2003, Bento Goncalves, Brasil). Actas. Bento Goncalves, Brasil, s.e. pp. 3-5.
53. _____.; _____.; Gil, G.; Franco, J.; Ferrer, M.; Moutonet, M.; Carbonneau, A. 2004. Anthocyanic composition of Tannat grapes from the south region of Uruguay. *Analytica Chimica Acta*. no. 513:197-202.
54. _____.; Ferrer, M. 2005. Evolución de los índices de estimación del potencial polifenológico durante la maduración de uvas tintas en el Sur del Uruguay. *Viticultura y Enología Profesional*. no. 99:2-8.
55. _____.; Gil, G.; Barreiro, L.; Ferrer, M.; Franco, J. 2006. Composición fenólica de las uvas de las principales variedades tintas de *Vitis vinífera* cultivadas en Uruguay. *Agrociencia (Uruguay)*. 10(2):1-14.
56. _____.; _____.; Guzmán, F.; Ferrer, M. 2011. Potencial polifenólico de la uva: índices propuestos y posibles aplicaciones. *Comunicata Scientiae*. 2(2):57-69.
57. Huglin, P.; Schneider, C. 1998. *Biologie et écologie de la vigne*. 2^{ème}. ed. Paris, France, Lavoisier. 370 p.
58. Hunter, J. J.; Visser, J. H. 1989. The effect of partial defoliation, leaf position and developmental stage of the vine on leaf chlorophyll concentration in relation to the photosynthetic activity and light intensity in the canopy of *Vitis vinífera* L.cv. Cabernet Sauvignon. *South African Journal of Enology and Viticulture*. 10:67-73.
59. _____.; Skrivan, R.; Ruffner, H. P. 1994. Diurnal an seasonal physiological change in leaves of *Vitis vinífera* L.: CO₂ assimilation rates, sugar lavelas and sucrolytic enzyme activity. *Vitis*. 33:189-195.
60. _____.; Volschenk, C. G.; Marais, J.; Fouché, G. W. 2004. Composition of sauvignon blanc grapes as affected by pre-

véraison canopy manipulation and ripeness level. South African Journal of Enology and Viticulture. 25(1):13-18.

61. Hsiao, T. C. 1973. Plant responses to water stress. Annual Reviews of Plant Physiology. 24:519-70.
62. INAVI (Instituto Nacional de Vitivinicultura, UY). 2021. Estadística de viñedos: datos nacionales 2021. (en línea). Canelones. 64 p. Consultado 9 abr. 2021. Disponible en <http://www.inavi.com.uy>
63. Jackson, D.; Lombard, P. 1993. Environmental and management practices affecting grape composition and wine quality – A review. American Journal of Enology and Viticulture. 44(4):409-430.
64. Jones, G., Davis, R. 2000. Climate influences on grapevine phenology, grape composition, and wine production and quality for Bordeaux, France. American Journal of Enology and Viticulture. 51(3):249-261.
65. Junges, A.; Fontana, D.; Anzanello, F.; Bremm, C. 2017. Normalized difference vegetation index obtained by ground-based remote sensing to characterize vine cycle in Rio Grande do Sul, Brazil. Ciência e Agrotecnologia. 41(5):543-553.
66. Keller, M. 2007. Grapevine anatomy and physiology. Washington, D. C., USA, Washington State University. 391 p.
67. _____. 2015. The science of grapevines: anatomy and physiology. 2nd. ed. Washington, D. C., USA, Washington State University. 509 p.
68. Kennedy, J. A.; Troup, G. J.; Dilbro, J. R.; Hutton, D. R.; Hewitt, D.; Hunter, C. A.; Ristic, R.; Iland, P. G.; Jones, G. P. 2000. Development of seed polyphenols in berries from *Vitis vinífera* L. cv. Shiraz. Australian Journal of Grape & Wine Research. 6:244 - 254.
69. _____. 2002. Understanding grape berry development. (en línea). San Rafael, Practical Winery and Vineyard. s.p. Consultado 23 set. 2021. Disponible en <http://www.practicalwinery.com/JulyAugust02/julaug02p14.htm>.

70. Kliewer, W. 1970. Effect of time and severity of defoliation on growth and composition of 'Thompson seedless' grapes. American Journal of Enology and Viticulture. 21(1):37-47.
71. _____.; Torres, R. E. 1972. Efecto de controladas temperaturas diurnas y nocturnas en la coloración de la uva. American Journal of Enology and Viticulture. 23:71-77.
72. _____.; Dokoozlian, N. K. 2005. Leaf area/crop weight ratios of grapevines: influence on fruit composition and wine quality. American Society for Enology and Viticulture. 56(2):170-180.
73. Kyraleou, M.; Koundouras, S.; Kallithraka, S.; Theodorou, N.; Proxenia, N.; Kotseridis, Y. 2015. Effect of irrigation regime on anthocyanin content and antioxidant activity of *Vitis vinifera* L. cv. Syrah grapes under semiarid conditions. (en línea). Journal of Soil and Water Science. 1(1):16-39. Consultado 19 oct. 2021. Disponible en <http://www.soci.org>
74. Lakso, A.; Pool, R. 2005. Efecto del estrés hídrico en el viñedo y en la calidad del vino (climas del Este). (en línea). Viticultura y Enología. 11 (2):1-10. Consultado 30 nov. 2021. Disponible en <http://www.infowine.com>
75. Lebon, E.; Pellegrino, A.; Louarn, G.; Lecoer, J. 2006. Branch development controls leaf area dynamics in grapevine (*Vitis vinifera*) growing in drying soil. Annals of Botany. 98(1):175-185.
76. Malheiro, A. C.; Santos, J. A.; Helder Fraga, H.; Pinto, J. G. 2010. Climate change scenarios applied to viticultural zoning in Europe. Climate Research. 43:163-177.
77. Martínez De Toda, F. 2007. Viticultura de calidad: factores que afectan al contenido de compuesto fenólicos. (en línea). ACE. Revista de Enología. no.21:s.p. Consultado 23 set. 2021. Disponible en <http://www.acenologia.com>

78. Mira de Oruña, R. 2010. Climate change associated effects on grape and wine quality and production. Food Research International. 43(7):1844-1855.
79. Miras-Avalos, J. M.; Buesa, I.; Yeves, A.; Pérez, D.; Risco, D.; Castel, J. R.; Intrigliolo, S. D. 2019. Unravelling the effects of berry size on 'tempranillo' grapes under different field practices. Ciência e Técnica Vitivinícola. 34(1):1-14.
80. Molfino, J. H.; Califra, A. 2001. Agua disponible de las tierras del Uruguay. Montevideo, Ministerio de Ganadería, Agricultura y Pesca. s.p.
81. Mori, K.; Goto-Yamamoto, N.; Kitayama, M.; Hashizume, K. 2007. Loss of anthocyanins in red-wine grape under high temperatura. Journal of Experimental Botany. 58(8):1935-1945.
82. Naor, A.; Wample, R. L. 1994. Gas exchange and water relations of field-grown Concord (*Vitis labruscana* Bailey) grapevines. American Journal of Enology and Viticulture. 45:333-337.
83. Ojeda, H.; Andary, C.; Kreaeva, 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):s.p.
84. _____.; Deloire, A.; Zenphing, W.; Carbonneau, A. 2004. Determinación y control del estado hídrico de la vid. Efectos morfológicos y fisiológicos de la restricción hídrica en vides. Viticultura y Enología Profesional. no. 90:27-43.
85. _____. 2007. Riego cualitativo de precisión en vid. (en línea). Revista Internet de Viticultura y Enología. 5 (1):1-10. Consultado 10 nov. 2021. Disponible en <http://www.infowine.com>.
86. _____.; Andary, C.; Whang, Z.; Carbonneau, A. 2008. Determinación y control del estado hídrico de la vid. Revista Enología. no. 6:1-16.

87. Oldani, H.; Costa, B. R.; Bognola, I. A.; Souza, C. R.; Bassoi, L. H. 2020. Homogeneous zones of vegetation index for characterizing variability and site-specific management in vineyards. *Scientia Agricola*. 78(4):1-10.
88. Ortega-Farias, S.; Acevedo, C.; Moreno, Y.; Pardo, C. 2004. Deshidratación prematura de bayas en cv. "Merlot": ¿Un desequilibrio hídrico del viñedo? Santiago de Chile, Chile, Pontificia Universidad Católica de Chile. Centro de Extensión, pp.1-17.
89. Ozdemir, G.; Sessiz, A.; Pekitkan, F. A. 2017. Precision viticulture tools to production of high quality grapes. *Scientific Papers. Series B, Horticulture*. 61:209-218.
90. Palliotti, A.; Cartechini, A.; Ferranti, F. 2000. Morphoanatomical and physiological characteristics of primary and lateral shoots leaves of Cabernet franc and Trebbiano toscano grapevines under two irradiance regimes. *American Journal of Enology and Viticulture*. 51(2):122-130.
91. _____; Tombesi, S.; Frioni, T.; Famiani, F.; Silvestroni, O.; Zamboni, M.; Poni, S. 2014. Morpho-structural and physiological response of container-grown Sangiovese and Montepulciano cvv. (*Vitis vinifera*) to re-watering after a pre-veraison limiting water deficit. *Functional Plant Biology*. 41(6):634-647.
92. Pereyra, G. 2018. Determinación del comportamiento hídrico, eficiencia en el uso del agua de variedades de *Vitis vinifera* y sus efectos en la composición de la uva. Tesis Maestría. Montevideo, Uruguay. Universidad de la República. Facultad de Agronomía. 146 p.
93. Pereyra, G.; Casaretto, E.; Borsani, O.; Ferrer, M. 2019. Water isotopic composition as a plant vigor indicator at plot level (en línea). In: World Congress of Vine and Wine (42nd, 2019, Geneva, Switzerland). Proceedings. Paris, International Organisation of Vine and Wine. pp. 2-4. Consultado 10 nov. 2021. Disponible en [\(PDF\) Composición isotópica del agua como un indicador del vigor de la planta a nivel de parcela \(researchgate.net\)](#)

94. Poni, S. 2008. Influencia de la gestión de la vegetación en la calidad de la uva. Información Técnica para la Industria Vitivinícola. 5(4):1-13.
95. Possner, D. R. C.; Kliewer, W. M. 1985. De localization of asids, sugars, potassium and calcium in developing grape berries. Vitis. 24:229-240.
96. Reynier, A. 2002. Manual de viticultura: guía técnica de viticultura. 6ª.ed. Madrid, España, Mundi-Prensa. 489 p.
97. Reynolds, A. G.; Prices, S.; Wardle, D.; Watson, B. 1994. Fruit and vironment and crop level effects on Pinot noir, Vine performance and fruit composition in British Columbia. American Journal of Enology and Viticulture. 45(4):452-459.
98. Ribéreau-Gayón, J.; Peynaud, E. 1982. Ciencias y técnicas de la viña. Buenos Aires, Hemisferio Sur. 671 p.
99. Rogiers, S. Y.; Keller, M.; Holzapfel, B. P.; Virgona, J. M. 2000. Accumulation of potassium and calcium by ripening berries on field vines of *Vitis vinifera* (L.) cv. Shiraz. Australian Journal of Grape and Wine Research. 6:240-243.
100. Salvarrey, J. 2016. Relación fuente-fosa en *Vitis vinifera* L. cv Tannat, en respuesta a dos técnicas de cultivo. Tesis Maestría. Montevideo, Uruguay. Universidad de la República. Facultad de Agronomía. 117 p.
101. Santibañez, A. 2004. Efectos del crecimiento vegetativo y la carga frutal en la variedad Cabernet Sauvignon. Tesis Ing. Agr. Santiago de Chile, Chile. Universidad de Chile. 46 p.
102. Scholander, P.; Hammel, H.; Edda, D.; Bradstreet, E.; Hemingsten, E. 1965. Sap presure in vascular plants. Science. 148:339-346.
103. Simonneau, T.; Lebon, E.; Coupel-Ledru, A; Marguerit, E.; Rossdeutsch, L.; Ollat, N. 2017. Adapting plant material to face water stress in vineyards: which physiological targets for an optimal control of plant water status?. OENO One. 51(2):167-179.

104. Smart, R.; Turkington, C.; Evans, J. 1974. Grapevine response to furrow and trickle irrigation. *American Journal of Enology and Viticulture*. 25(2):62-66.
105. _____.; 1985. Principles of grapevines canopy management microclimate manipulation whit implications for yield and quality. *American Journal of Viticulture and Enology*. 36:230-242
106. _____.; Robinson, M. 1991. *Sunlight into the wine; a handbook for winegrape canopy management*. Adelaide, New Zealand, Winetitles. 88 p.
107. 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.
108. Tonietto, J. 1999. Les macroclimats viticoles mondiaux et l'influence du mésoclimat sur la typicité de la Syrah et du Muscat Hambourg dans le sud de la France. *Méthodologie de caractérisation. Bulletin de l'OIV*. 72(821-822):552-553.
109. Triolo, R.; Roby, J. P.; Pisciotto, A.; Di Lorenzo, R.; Leeuwen, C. 2019. Impact of vine water status on berry mass and berry tissue development of Cabernet franc (*Vitis vinifera* L.), assessed at berry level. *Journal of the Science of Food and Agriculture*. 99:5711-5719. Consultado 18 ago.2021. Disponible en <https://www.researchgate.net/publication/333515922>
110. Valdivieso, F. 2005. Técnicas del manejo del follaje en la viticultura chilena. (en línea). VinideaNet. Revista Internet de Viticultura y Enología. no. 6:s.p. Consultado 18 ago. 2021. Disponible en <http://www.infowine.com>.
111. Van Leeuwen, C.; Vivin, P. 2008. Alimentation hydrique de la vigne et qualité des raisins. *Innovations Agronomiques*. 2:159-167.
112. Vasconcelos, M. C.; Castagnoli, S. 2000. Leaf canopy structure and vine preformance. *American Journal of Enology and Viticulture*. 51(4):390-396.

113. Williams, D.; Williams, L.; Barnett, W.; Kelley, K.; McKenry, M. 1985. Validation of a model for the growth and development of the Thompson seedless grapevine. I. Vegetative growth and fruit yield. American Journal of Enology and Viticulture. 36(4):275-282.
114. _____.; Biscay, P.; Smith, R. 1987. Effects of interior canopy defoliation on berry composition and potassium distribution in Thompson seedless grapevines. American Journal of Enology and Viticulture. 38(4):287-292.
115. Williams, L. E.; Ayars, J. E. 2005. Grapevine water use and the crop coefficient are linear functions of the shaded area measured beneath the canopy. (en línea). Agricultural and Forest Meteorology 132:201-211. Consultado 10 dic. 2021. Disponible en <https://www.researchgate.net/publication/222530174>
116. _____.; Biscay, P.; Smith, R. 1987. Effects of interior canopy defoliation on berry composition and potassium distribution in Thompson seedless grapevines. American Journal of Enology and Viticulture. 38(4):287-292.
117. Winkler, A. J. 1962. Viticultura general. México, Continental. 792 p.
118. _____.1965. Viticultura. México, Continental. 791 p.
119. Zufferey, V.; Verdenal, T.; Dienes, A.; Belcher, S.; Lorenzini, F.; Koestel, C.; Rösti, J.; Gindro, K.; Spangenberg, J.; Viret, O.; Spring, J. 2018. The impact of plant water status on the gas exchange, berry composition and wine quality of Chasselas grapes in Switzerland. (en línea). Oeno One. Vine and Wine Open Access Journal. 52(4):1-15. Consultado 23 set. 2021. Disponible en <https://oeno-one.eu/article/view/2181>.