

**UNIVERSIDAD DE LA REPÚBLICA  
FACULTAD DE AGRONOMÍA**

**APLICACIÓN DE DESHOJADO EN PREFLORACIÓN EN LAS VARIEDADES  
*SYRAH* Y *TANNAT*: ANÁLISIS DE LA INFLUENCIA SOBRE LAS  
VARIABLES DE RENDIMIENTO, COMPOSICIÓN, SANIDAD Y  
ESTRUCTURA DEL HOLLEJO**

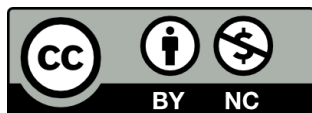
**por**

**Matías GELABERT GUTIÉRREZ**

**Trabajo final de grado  
presentado como uno de  
los requisitos para obtener  
el título de Ingeniero  
Agrónomo**

**MONTEVIDEO  
URUGUAY  
2026**

Este Trabajo Final de Grado se distribuye bajo licencia  
"Creative Commons **Reconocimiento – No Comercial**".



PÁGINA DE APROBACIÓN

Trabajo final de grado aprobado por:

Director:

\_\_\_\_\_  
Ing. Agr. (Dr.) Gerardo Echeverría

Tribunal:

\_\_\_\_\_  
Ing. Agr. (Dr.) Gerardo Echeverría

\_\_\_\_\_  
Lic. Biol. (Dra.) Gabriela Speroni

\_\_\_\_\_  
Ing. Agr. (Mag.), Ing. en Enología HES y Enólogo Néstor Merino

Fecha:

3 de junio de 2026

Estudiante:

\_\_\_\_\_  
Matías Gelabert Gutiérrez

## AGRADECIMIENTOS

En primer lugar, deseo expresar mi profundo agradecimiento al Ing. Agr. Dr. Gerardo Echeverría por su acompañamiento a lo largo de este trabajo. Su disposición y apoyo constante resultaron fundamentales durante este proceso, convirtiéndose no sólo en el tutor de éste trabajo, sino también en una persona clave dentro de mi carrera académica.

Quisiera agradecer también al Ing. Agr. M. Sc. Leandro Arrillaga por su colaboración y por la ayuda brindada en diferentes instancias del desarrollo de esta investigación.

Extiendo además mi reconocimiento a todo el equipo de la Cátedra de Viticultura de la Facultad de Agronomía, por su apoyo y sus aportes que hicieron posible llevar adelante este proyecto.

Agradezco a Bodega y Viñedos Alto de la Ballena por permitirme realizar el trabajo de campo en sus viñedos y abrirme las puertas de su laboratorio para hacer los análisis de rutina.

También agradezco a la Lic. Biol. Dra. Gabriela Speroni por su disposición y por facilitarme el acceso al laboratorio de botánica, así como por proporcionar insumos necesarios para la realización de este trabajo.

Finalmente, agradezco especialmente a mi familia por su apoyo constante y por acompañarme durante todo este proceso, siendo un sostén importante a lo largo de esta etapa.

TABLA DE CONTENIDO

	Página
<u>PÁGINA DE APROBACIÓN.....</u>	<u>3</u>
<u>AGRADECIMIENTOS .....</u>	<u>4</u>
<u>LISTA DE TABLAS Y FIGURAS .....</u>	<u>9</u>
<u>RESUMEN.....</u>	<u>11</u>
<u>SUMMARY .....</u>	<u>13</u>
<u>1. INTRODUCCIÓN .....</u>	<u>15</u>
<u>2. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA.....</u>	<u>18</u>
2.1. DESCRIPCIÓN VARIETAL.....	18
2.1.1. <u>Características varietales de <i>Tannat</i> .....</u>	<u>18</u>
2.1.2. <u>Características varietales de <i>Syrah</i> .....</u>	<u>18</u>
2.2. PODREDUMBRE DE RACIMOS ASOCIADA A <i>BOTRYTIS CINEREA</i> .....	19
2.2.1. <u>Podredumbre gris de la vid .....</u>	<u>20</u>
2.3. DESHOJADO DE LA VID PREVIO A LA FLORACIÓN .....	22
2.4. REGULADORES DEL CRECIMIENTO A NIVEL DE LAS BAYAS	24
2.4.1. <u>Hormonas promotoras del crecimiento vegetal producidas por las plantas .....</u>	<u>24</u>
2.4.2. <u>Prohexadione cálcico como regulador exógeno del crecimiento vegetal .....</u>	<u>27</u>
2.5. COMPOSICION DE LA BAYA.....	30
2.5.1. <u>Sólidos solubles.....</u>	<u>30</u>
2.5.2. <u>Acidez .....</u>	<u>30</u>
2.5.3. <u>pH .....</u>	<u>32</u>
2.5.4. <u>Compuestos fenólicos .....</u>	<u>32</u>
2.6. ANATOMÍA E HISTOLOGÍA DE LAS BAYAS DE VID.....	34
<u>3. MATERIALES Y MÉTODOS.....</u>	<u>36</u>
3.1. CARACTERÍSTICAS GENERALES DEL VIÑEDO.....	36
3.1.1. <u>Descripción del viñedo .....</u>	<u>36</u>
3.1.2. <u>Suelos y geología del viñedo.....</u>	<u>37</u>
3.1.3. <u>Variables climáticas del período de ensayo .....</u>	<u>37</u>
3.2. DISEÑO EXPERIMENTAL.....	38

3.2.1.	<u>Tratamientos.....</u>	38
3.2.2.	<u>Aplicación de Prohexadione cálcico.....</u>	40
3.3.	EVALUACIÓN DE RESPUESTA E INDICADORES FISIOLÓGICOS. .....	41
3.3.1.	<u>Estimación del crecimiento vegetativo y evaluación del dosel..</u>	41
3.3.2.	<u>Mediciones obtenidas durante la cosecha .....</u>	42
3.3.3.	<u>Composición de las bayas .....</u>	42
3.4.	ANÁLISIS HISTOLÓGICO .....	43
3.4.1.	<u>Selección de muestras .....</u>	43
3.4.2.	<u>Inclusión, microtomía y tinción.....</u>	44
3.4.3.	<u>Medición de las células del hollejo.....</u>	44
3.5.	ANÁLISIS ESTADÍSTICO .....	45
4.	<u>RESULTADOS .....</u>	46
4.1.	CARACTERIZACIÓN CLIMÁTICA DEL AÑO .....	46
4.1.1.	<u>Precipitaciones y evapotranspiración potencial .....</u>	46
4.1.2.	<u>Temperatura durante el desarrollo vegetativo.....</u>	46
4.2.	EFFECTO DE LOS TRATAMIENTOS SOBRE PARÁMETROS VEGETATIVOS Y SOBRE LA SANIDAD.....	47
4.2.1.	<u>Superficie foliar expuesta potencial.....</u>	47
4.2.2.	<u>Número de capas de hojas.....</u>	48
4.2.3.	<u>Proporción de racimos expuestos .....</u>	49
4.2.4.	<u>Incidencia de podredumbre de racimos .....</u>	50
4.3.	IMPACTO DE LOS TRATAMIENTOS EN PARÁMETROS VINCULADOS AL RENDIMIENTO PRODUCTIVO .....	50
4.3.1.	<u>Número de racimos por planta .....</u>	50
4.3.2.	<u>Peso promedio de racimo .....</u>	51
4.3.3.	<u>Rendimiento promedio.....</u>	52
4.3.4.	<u>Peso de la baya al momento de cosecha .....</u>	53
4.4.	RESPUESTA FISIOLÓGICA Y COMPOSICIÓN DE LA BAYA FRENTE A LOS TRATAMIENTOS APLICADOS .....	54
4.4.1.	<u>Compacidad de racimos (IC).....</u>	54
4.4.2.	<u>Evolución del peso de baya.....</u>	55
4.4.3.	<u>Evolución de los Sólidos solubles .....</u>	56
4.4.4.	<u>Evolución de la Acidez total .....</u>	58

4.4.5.	<u>Evolución del pH.....</u>	60
4.4.6.	<u>Composición fenólica de la baya posterior a cosecha .....</u>	62
4.5.	EFFECTO DE LOS TRATAMIENTOS EN LA COMPOSICIÓN HISTOLÓGICA DE LAS BAYAS.....	64
4.5.1.	<u>Número de capas del hollejo.....</u>	64
4.5.2.	<u>Espesor de la cutícula .....</u>	66
4.5.3.	<u>Espesor de la epidermis .....</u>	67
4.5.4.	<u>Espesor de la hipodermis .....</u>	68
4.5.5.	<u>Espesor total de epicarpo .....</u>	70
4.6.	SÍNTESIS DE LOS PRINCIPALES RESULTADOS .....	71
4.6.1.	<u>Asociación de los resultados de las distintas variables en <i>Syrah</i> 71</u>	
4.6.2.	<u>Asociación de los resultados de las distintas variables en <i>Tannat</i> .</u> .....	72
5.	<u>DISCUSIÓN.....</u>	74
5.1.	CARACTERIZACIÓN CLIMÁTICA DEL AÑO.....	74
5.1.1.	<u>Precipitaciones y evapotranspiración potencial .....</u>	74
5.1.2.	<u>Temperatura durante el desarrollo vegetativo.....</u>	74
5.2.	EFFECTO DE LOS TRATAMIENTOS SOBRE PARÁMETROS VEGETATIVOS Y SOBRE LA SANIDAD DEL RACIMO .....	75
5.2.1.	<u>Superficie foliar expuesta potencial.....</u>	75
5.2.2.	<u>Número de capas de hojas.....</u>	75
5.2.3.	<u>Proporción de racimos expuestos .....</u>	76
5.2.4.	<u>Incidencia de podredumbre de racimos .....</u>	77
5.3.	IMPACTO DE LOS TRATAMIENTOS EN PARÁMETROS VINCULADOS AL RENDIMIENTO PRODUCTIVO .....	77
5.3.1.	<u>Número de racimos por planta, peso promedio de racimo y rendimiento promedio.....</u>	77
5.3.2.	<u>Peso de la baya al momento de cosecha .....</u>	79
5.4.	RESPUESTA FISIOLÓGICA Y COMPOSICIÓN DE LA BAYA FRENTE A LOS TRATAMIENTOS APLICADOS .....	81
5.4.1.	<u>Compacidad de racimos.....</u>	81
5.4.2.	<u>Evolución del peso de baya.....</u>	81
5.4.3.	<u>Evolución de los Sólidos solubles .....</u>	82
5.4.4.	<u>Evolución de la Acidez total .....</u>	83

5.4.5.	<u>Evolución del pH.....</u>	83
5.4.6.	<u>Composición fenólica de la baya posterior a cosecha .....</u>	84
5.5.	EFFECTO DE LOS TRATAMIENTOS EN LA COMPOSICIÓN HISTOLÓGICA DE LAS BAYAS.....	85
5.5.1.	<u>Número de capas del hollejo.....</u>	85
5.5.2.	<u>Espesor de la cutícula .....</u>	86
5.5.3.	<u>Espesor de la epidermis .....</u>	87
5.5.4.	<u>Espesor de la hipodermis .....</u>	88
5.5.5.	<u>Espesor total de epicarpo .....</u>	89
5.6.	DISCUSIÓN INTEGRADA DE LOS PRINCIPALES RESULTADOS Y SU INTERRELACIÓN .....	90
5.6.1.	<u>Asociación de los resultados de las distintas variables en <i>Syrah</i>.....</u>	90
5.6.2.	<u>Asociación de los resultados de las distintas variables en <i>Tannat</i> .....</u>	91
6.	<u>CONCLUSIONES .....</u>	92
7.	<u>BIBLIOGRAFÍA .....</u>	94
8.	<u>ANEXOS.....</u>	112

LISTA DE TABLAS Y FIGURAS

Tabla No.	Página
<b>Tabla 1</b> <i>Tratamientos</i> .....	40
Figura No.	
<b>Figura 1</b> <i>Estructura del Prohexadione Cálcico</i> .....	27
<b>Figura 2</b> <i>Croquis de ensayo sobre Tannat con diseño estadístico</i> .....	38
<b>Figura 3</b> <i>Croquis de ensayo sobre Syrah con diseño estadístico</i> .....	39
<b>Figura 4</b> <i>Esquema metodológico del procesamiento histológico de bayas para el análisis del hollejo.</i> .....	45
<b>Figura 5</b> <i>Evolución de las precipitaciones y ETP decádicos</i> .....	46
<b>Figura 6</b> <i>Evolución de la temperatura media diaria (°C)</i> .....	47
<b>Figura 7</b> <i>Superficie foliar expuesta potencial</i> .....	48
<b>Figura 8</b> <i>Número de capas de hojas de la canopia</i> .....	49
<b>Figura 9</b> <i>Porcentaje de racimos expuestos</i> .....	50
<b>Figura 10</b> <i>Número de racimos por planta</i> .....	51
<b>Figura 11</b> <i>Peso promedio de racimo</i> .....	52
<b>Figura 12</b> <i>Rendimiento promedio por planta</i> .....	53
<b>Figura 13</b> <i>Peso de la baya en cosecha</i> .....	54
<b>Figura 14</b> <i>Evolución IC de racimos en Syrah</i> .....	55
<b>Figura 15</b> <i>Evolución IC de racimos en Tannat</i> .....	55
<b>Figura 16</b> <i>Evolución peso (g) de 50 bayas</i> .....	56
<b>Figura 17</b> <i>Evolución Sólidos solubles Syrah</i> .....	57
<b>Figura 18</b> <i>Evolución Sólidos solubles Tannat</i> .....	57
<b>Figura 19</b> <i>Sólidos solubles a cosecha</i> .....	58
<b>Figura 20</b> <i>Evolución Acidez total de Syrah</i> .....	59
<b>Figura 21</b> <i>Evolución Acidez total de Tannat</i> .....	59
<b>Figura 22</b> <i>Acidez total a cosecha</i> .....	60
<b>Figura 23</b> <i>Evolución de pH en Syrah hasta cosecha</i> .....	61
<b>Figura 24</b> <i>Evolución de pH en Tannat hasta cosecha</i> .....	61
<b>Figura 25</b> <i>pH a cosecha</i> .....	62
<b>Figura 26</b> <i>Potencial de antocianos (ApH1) en cosecha</i> .....	63
<b>Figura 27</b> <i>Potencial de antocianos fácilmente extraíbles (ApH3,2) en cosecha</i> ....	63
<b>Figura 28</b> <i>Índice de polifenoles totales (IPT) en cosecha</i> .....	64
<b>Figura 29</b> <i>Número medio de capas del hollejo</i> .....	65
<b>Figura 30</b> <i>Corte histológico de baya de Tannat. Planta n° 6, repetición 3 del tratamiento TC</i> .....	65
<b>Figura 31</b> <i>Espesor medio de la cutícula</i> .....	66
<b>Figura 32</b> <i>Corte histológico de baya de Tannat. Planta n° 3, repetición 3 del tratamiento TC</i> .....	67
<b>Figura 33</b> <i>Espesor medio de la epidermis</i> .....	68
<b>Figura 34</b> <i>Corte histológico de baya de Tannat. Planta n° 9, repetición 3 del tratamiento TC</i> .....	68

<b>Figura 35</b> <i>Espesor medio de la hipodermis</i> .....	69
<b>Figura 36</b> <i>Corte histológico de baya de Tannat. Planta n° 6, repetición 3 del tratamiento DPF</i> .....	69
<b>Figura 37</b> <i>Espesor medio del epicarpo</i> .....	70
<b>Figura 38</b> <i>Corte histológico de baya de Tannat. Planta n° 3, repetición 2 del tratamiento TC</i> .....	70
<b>Figura 39</b> <i>Análisis de componentes principales (ACP) de las principales variables de respuesta agronómica en Syrah</i> .....	72
<b>Figura 40</b> <i>Análisis de componentes principales (ACP) de las principales variables de respuesta agronómica en Tannat</i> .....	73

## RESUMEN

El presente trabajo evaluó el impacto del deshoje en prefloración (DPF) y de la aplicación de Prohexadione cálcico (PCa) sobre variables agronómicas, fisiológicas, sanitarias, anatómicas e indicadores de calidad enológica en las variedades *Tannat* y *Syrah*, cultivadas en un viñedo al sur del departamento de Maldonado, Uruguay. El estudio se desarrolló bajo un diseño en bloques completos al azar con tres tratamientos (TC, DPF y PCa) y tres repeticiones por tratamiento, incluyendo mediciones productivas, climáticas, histológicas y de composición fenólica de las bayas. Las hipótesis plantearon que el DPF modificaría la relación fuente–fosa, reduciría la compactación de racimos y aumentaría la exposición lumínica, promoviendo mejoras en el potencial enológico; mientras que el PCa, mediante la inhibición de la biosíntesis de giberelinas, disminuiría el tamaño de las bayas, descompactaría racimos y favorecería una mayor relación hollejo/pulpa y acumulación de compuestos fenólicos. Los resultados evidenciaron que en *Syrah*, ambos tratamientos modificaron la arquitectura de la canopia, reduciendo el número de capas de hojas y aumentando la proporción de racimos expuestos, confirmando una alteración efectiva del microclima del racimo. Mientras que en *Tannat*, los tratamientos no modificaron la arquitectura de la canopia. La incidencia de *Botrytis cinerea* fue nula en todos los tratamientos y variedades, atribuible principalmente a condiciones climáticas secas y a un balance hídrico negativo durante el período crítico, lo que determinó que el ambiente actuara como factor sanitario dominante. En términos productivos, no se observaron diferencias significativas en número de racimos por planta, peso de racimo ni rendimiento promedio, aunque el PCa redujo significativamente el peso de baya en *Syrah*, coherente con su efecto regulador del crecimiento. El DPF mostró una tendencia a disminuir el peso de baya, sin diferencias estadísticas respecto al testigo en *Syrah* y con diferencias en *Tannat*. En cuanto a la composición fenólica, se observó una marcada respuesta varietal. En *Tannat*, el DPF incrementó los antocianos fácilmente extraíbles y el índice de polifenoles totales, evidenciando alta sensibilidad al manejo de la canopia. En *Syrah*, las variaciones fueron más moderadas, aunque DPF y PCa se asociaron con mayor índice de polifenoles totales. El análisis multivariado confirmó una diferenciación clara entre tratamientos, particularmente en *Syrah*, donde el PCa se vinculó estrechamente con variables del hollejo y calidad tecnológica. Desde el punto de vista histológico, en *Tannat* el número de capas del hollejo fue mayor en el tratamiento testigo y se redujo con DPF. En *Syrah*, se registró un incremento significativo en este parámetro con la aplicación

de PCa, pudiendo atribuirle al PCa la capacidad de disminuir el peso de bayas y al mismo tiempo aumentar el número de capas del hollejo. Por el contrario, los espesores de cutícula, de epidermis, de hipodermis y del total del epicarpo no mostraron diferencias significativas entre tratamientos, evidenciando una marcada estabilidad estructural y predominio del control genético sobre estos atributos anatómicos. En conjunto, los resultados demuestran que las prácticas de manejo evaluadas modificaron ciertos parámetros de calidad enológica y de composición histológica de las bayas, con respuestas diferenciadas según el cultivar. No obstante, el rendimiento y la sanidad estuvieron fuertemente condicionados por factores ambientales del ciclo. El trabajo aporta información original a nivel nacional sobre la interacción entre manejo agronómico, histología del hollejo y composición fenólica en *Tannat* y *Syrah*, contribuyendo a la comprensión del potencial enológico en condiciones edafoclimáticas del sur de Uruguay.

*Palabras clave:* *Vitis vinifera* L., deshoje prefloración, Prohexadione cálcico, composición fenólica, calidad enológica

## SUMMARY

This study evaluated the effect of preflowering leaf removal (DPF) and the application of Prohexadione calcium (PCa) on vegetative development, yield components, grape composition, sanitary status, and berry skin histological structure in the grapevine cultivars *Tannat* and *Syrah* under the edapho-climatic conditions of southern Uruguay. The effect of the treatments on vegetative parameters was generally limited, although some differences were observed. Potential exposed leaf area showed no significant differences among treatments within each cultivar but differed between cultivars, with higher values in *Syrah*. The proportion of exposed clusters also did not differ significantly among treatments in both cultivars. The number of leaf layers remained within optimal ranges; however, in *Syrah* the treatments reduced canopy density compared with the control. Regarding yield components, the number of clusters per plant was not affected by the treatments, indicating that differences were mainly determined by genotype, with higher cluster numbers in *Syrah*. Average cluster weight showed no significant differences, although slight decreasing trends were observed under Prohexadione calcium in *Syrah* and under pre-flowering leaf removal in *Tannat*. Yield per plant was not significantly modified by the treatments, and *Syrah* exhibited higher productivity than *Tannat*. Prohexadione calcium significantly reduced berry weight in *Syrah*, whereas pre-flowering leaf removal did not produce significant changes. In *Tannat*, however, early leaf removal significantly reduced berry size. Physiological responses related to cluster compactness were not statistically significant. Berry growth followed a normal developmental pattern, although in *Syrah* the application of Prohexadione calcium limited final berry growth. With respect to berry composition, soluble solids increased normally during ripening, with no differences among treatments at harvest. Total acidity decreased progressively in both cultivars without final differences among treatments, while pH increased throughout ripening and was only slightly affected by the treatments. Phenolic composition showed cultivar-dependent responses: in *Tannat*, anthocyanin potential and total polyphenol index increased following early leaf removal, whereas in *Syrah* the responses were more moderate. The histological structure of the berries, specifically cuticle thickness, epidermis thickness, hypodermis thickness, and total epicarp thickness, did not show significant differences among treatments or between cultivars, indicating a strong structural stability of these tissues. However, the number of skin cells displayed a differential response within each cultivar. In *Tannat*, the highest values were observed in

the control treatment and decreased under early leaf removal, while in *Syrah* the treatments, particularly Prohexadione calcium, produced significant increases in this parameter. Overall, the results demonstrate that the evaluated vineyard management practices effectively modified canopy structure and certain parameters related to technological and enological grape quality, with cultivar-specific responses. Nevertheless, yield and sanitary status were strongly influenced by environmental conditions during the growing season. This work provides original information at the national level regarding the interaction between agronomic management, berry skin anatomy, and phenolic composition in *Tannat* and *Syrah*, contributing to a better understanding of their enological potential under the edapho-climatic conditions of southern Uruguay.

*Keywords:* *Vitis vinifera* L., early leaf removal, Prohexadione calcium, phenolic composition, enological quality

## 1. INTRODUCCIÓN

El vino, que es el resultado de la fermentación del jugo de uva, se ha producido al menos desde el año 5.000 aC, habiendo registros de cosechas que datan del año 3.000 aC en la antigua Mesopotamia (McGovern, 2003). Según la International Organisation of Vine and Wine (OIV, 2018), la superficie de viñedos plantados para obtener vinos, pasas de uva y uvas de mesa fue de 7.351.833 ha, de las cuales se obtuvieron 38,3 millones de toneladas de uvas para vinificación, representando el 53,8 % de la producción total. Para la zafra 2020, la producción de vino a nivel nacional proveniente de 6.144 ha fue de 69.486.679 litros (Instituto Nacional de Vitivinicultura [INAVI], 2020, requiere generar el reporte).

La variedad *Tannat* fue introducida al Uruguay por Pascal Harriague en el siglo XIX y se ha convertido en la variedad insignia de la vitivinicultura uruguaya, llegando a ocupar el 26,6% de la superficie total de viñedos (INAVI, 2020, requiere generar el reporte).

*Syrah* es una cepa originaria de la región del norte del río Ródano, al sureste de Francia. Es una variedad producto del cruzamiento de los cultivares *Dureza* x *Mondeuse blanche* (Bowers et al., 2000). La introducción masiva de la variedad *Syrah* en Uruguay se concentró entre finales de la década de 1990 y principios de los años 2000, período que marcó su auge de plantación en el país. En la actualidad, su presencia es minoritaria dentro de la matriz productiva nacional. Según los registros oficiales, la cepa ocupa una superficie de 56 hectáreas, lo que representa apenas el 0,9% de la cobertura total del viñedo nacional (INAVI, 2020, requiere generar el reporte).

La vid es un cultivo que tradicionalmente se ha adaptado a los sucesivos cambios impuestos por los agricultores a través de los siglos en sus diferentes zonas de producción, lo que ha llevado a que la viticultura sea un rubro altamente tecnificado. Sin embargo, la mano del hombre al día de hoy le sigue imprimiendo un valor agregado insustituible con el que se logran los vinos más finos. En ese marco, en las últimas décadas han aparecido nuevos viticultores en zonas del país no tradicionales, como es el caso del departamento de Maldonado que se ha constituido en un nuevo polo de desarrollo vitivinícola, con el objetivo de producir vinos de alta calidad en una zona agroclimática muy promisoriosa.

Con la implantación de viñedos en una zona geográfica diferente surge la necesidad de generar información productiva específica relacionada a las técnicas agronómicas aplicadas para solucionar problemas sanitarios del cultivo con el fin de mejorar la calidad enológica de los vinos.

Los objetivos de este trabajo, en los que se describe la composición de la baya y sus aspectos anatómicos en un viñedo al sur del departamento de Maldonado son, por un lado, contribuir en la generación de información de relevancia agronómica para las variedades *Tannat* y *Syrah* en la zona de estudio en función de las prácticas implementadas. Por otro lado, como trabajo sin antecedentes a nivel nacional, se tiene como objetivo describir aspectos anatómicos de las células del hollejo para las variedades *Tannat* y *Syrah* en las condiciones de estudio.

Con el motivo de lograr los objetivos planteados, en este trabajo se plantean las siguientes hipótesis:

1. La remoción manual de las hojas basales del pámpano previo a la floración (DPF) genera dos cambios importantes a nivel productivo y enológico. Por un lado, se reduce la producción de fotoasimilados destinados al racimo, alterando así la relación fuente-fosa durante la etapa de crecimiento vegetativo. Por esto, disminuye la llegada de carbohidratos al racimo provocando el aborto de flores y frutos recién cuajados. Dicha práctica promueve la formación de racimos más pequeños con menor número de bayas y menos compactos, desfavoreciendo las condiciones ambientales predisponentes para la infección y colonización de patógenos causantes de enfermedades del racimo. Por otro lado, el DPF deja los racimos más expuestos al sol desde el primer momento de su desarrollo, permitiendo una mayor síntesis de polifenoles, antocianos y sólidos solubles, aumentando así el potencial enológico.

2. La aplicación de Prohexadione cálcico (PCa) sobre los racimos, entre el final de la floración e inicio del cuajado (entre los estados 26 y 30 en la escala fenológica de Eichhorn-Lorenz) tiene efectos físicos y químicos en el crecimiento y desarrollo de los frutos. Los principales efectos son:

- El PCa inhibe la síntesis de giberilinas, provocando aborto de flores con una posterior disminución del tamaño y del peso de las bayas, formándose así racimos menos compactos o más laxos. Esto permite una menor

incidencia de enfermedades del racimo y un aumento de la relación hollejo/pulpa, alcanzando así un mayor potencial enológico.

- El PCa provoca un incremento en el índice de polifenoles totales (IPT) y en el contenido de antocianos, determinando un potencial aumento en la calidad enológica del vino producto de su aplicación.

- El PCa induce la síntesis de flavonoides y otros fenilpropanoides en la baya, compuestos que inhiben el desarrollo de patógenos causantes de enfermedades del racimo.

3. Los diferentes tratamientos realizados para *Tannat* y *Syrah* modifican la estructura celular del epicarpo de las bayas, explicando desde el punto de vista botánico los resultados de los parámetros productivos y enológicos.

## 2. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

### 2.1. DESCRIPCIÓN VARIETAL

#### 2.1.1. Características varietales de *Tannat*

La variedad *Tannat* ha crecido históricamente en el suroeste de Francia y también en el País Vasco. En la actualidad es una de las variedades más importantes de Uruguay, donde se considera la "uva nacional". Esta variedad es conocida a nivel mundial y se caracteriza por su color oscuro y su estructura firme y tánica, permitiendo producir vinos tintos ligeramente ácidos, de calidad, potentes, robustos y capaces de envejecer en barrica (INAVI, s.f.).

De acuerdo a Ferrer et al. (2011) la variedad *Tannat* presenta un gran potencial enológico para la elaboración de vinos tintos con identidad, caracterizado por altos contenidos de compuestos fenólicos, de azúcares y por la acidez de sus uvas.

La planta de *Tannat* posee racimos compactos y el grosor de la cutícula de las bayas es medio (Organisation Internationale de la Vigne et du Vin [OIV], 2009).

De acuerdo con Pañitru-De la Fuente et al. (2018), la susceptibilidad de *Tannat* a *Botrytis cinerea*, se ubicó dentro de la categoría “resistente a intermedia”. Sin embargo, en Uruguay, *Botrytis cinerea* constituye un patógeno de importancia en la vid, capaz de provocar pérdidas significativas, particularmente bajo condiciones ambientales favorables para su desarrollo (Gepp et al., 2012).

En el sur de Uruguay la floración ocurre generalmente a partir de la 1er quincena de noviembre, el envero desde principios de enero, y la maduración y cosecha desde principios de marzo, todo ello dependiendo de las características agroecológicas de cada año (Ferraro Olmos, 1998).

#### 2.1.2. Características varietales de *Syrah*

La variedad *Syrah* cuenta con una muy breve historia en el Uruguay, siendo al día de hoy una variedad secundaria a nivel nacional que se implanta exclusivamente para obtener vinos de calidad diferenciados (INAVI, s.f.).

Tal como describe el Catálogo de uvas para vinificar (PlantGrape, s.f.) las bayas de *Syrah* permiten obtener vinos tintos con un grado alcohólico óptimo, aptos para el

envejecimiento y de excelente calidad. Los vinos suelen ser de un color azul intenso, muy aromáticos, refinados, tánicos y de baja acidez.

Según la OIV (2009) la planta de *Syrah* posee racimos medianamente compactos a compactos y bayas pequeñas con un grosor de cutícula medio.

Según Ellison et al. (1998), la susceptibilidad de *Syrah* a *Botrytis cinerea* a nivel de los racimos puede variar de baja a alta. Aunque de acuerdo con Pañitru-De la Fuente et al. (2018), la susceptibilidad *Syrah* a *Botrytis cinerea*, se ubicó dentro de la categoría “resistente a intermedia”, con proximidad a la categoría “susceptible”.

Esta variedad madura con rapidez, lo que se traduce en un periodo de envermaduración relativamente corto. El período de vendimia óptimo es bastante breve y se valorará teniendo en cuenta, no solo el contenido en azúcares y la acidez, sino también el peso de las bayas, el estado de los racimos y las bayas y la degustación de las bayas (PlantGrape, s.f.).

## 2.2. PODREDUMBRE DE RACIMOS ASOCIADA A *BOTRYTIS CINEREA*

Las podredumbres de racimos constituyen una de las problemáticas principales que condicionan la calidad de la vendimia en países de clima templado-húmedo como Uruguay (Arrillaga López, 2017).

La podredumbre Gris de la vid causada por *Botrytis cinerea* que afecta los racimos, puede causar pérdidas de rendimiento de entre el 20 % y el 50 % (Shen et al., 2021). De acuerdo con Scholefield Robinson Horticultural Services y EconSearch (2010), en Australia las podredumbres por *Botrytis cinerea* sobre uvas destinadas a vino y consumo en fresco, causan pérdidas estimadas en U\$S 33 millones al año.

En años con ocurrencias de condiciones predisponentes para el desarrollo de Podredumbre Gris pueden ocurrir importantes pérdidas de cantidad y calidad de producción. Para evitarlas, habrá que considerar el momento de cosecha para que la enfermedad no altere de forma significativa los parámetros enológicos propuesto (Ferrer et al., 2008).

De acuerdo con Arrillaga López (2017), las implicancias negativas de cosechar uvas afectadas persisten hasta la etapa de vinificación. En particular los mostos obtenidos

a partir de uvas afectadas por *Botrytis cinerea* presentan una serie de alteraciones bioquímicas que constituyen una pérdida de calidad en los principales atributos enológicos como el color de los vinos, destrucción de la película que contiene las sustancias aromáticas, reducción del grado alcohólico y aumento de la acidez volátil (aumentando el sabor avinagrado del vino).

Por otra parte, Hahn (2014) señala que, la introducción de fungicidas de sitio de acción específicos hace casi 50 años revolucionó la protección de cultivos, proporcionando compuestos altamente eficientes y de baja toxicidad para el control de enfermedades fúngicas. Sin embargo, el mismo autor menciona que pronto se descubrió que los hongos fitopatógenos pueden adaptarse a esos tratamientos mediante mutaciones que generan resistencia a los mismos, como es el caso de *Botrytis cinerea*. La introducción de nuevas clases de fungicidas para el control del patógeno siempre ha estado acompañada de la aparición de resistencia en las poblaciones del hongo a nivel de campo. Por lo tanto, esto sugiere que, para mantener una protección adecuada contra la Podredumbre Gris, se requiere la implementación estricta de medidas de manejo de resistencia, así como estrategias alternativas a los productos químicos (Leroux, 2007).

En la misma línea, Evans et al. (2010) señalan que el uso de botricidas para la protección vegetal durante la maduración de las bayas, está sujeta a una creciente restricción debido a las especificaciones del mercado que exigen bajos o nulos residuos de fungicidas en el vino. Por lo tanto, cobran fuerza nuevas estrategias basadas en el control cultural y biológico, y el uso de modelos de apoyo a la toma de decisiones para un uso racional de los fungicidas.

#### 2.2.1. Podredumbre gris de la vid

La Podredumbre gris de la vid es una enfermedad cuyo agente causal es el hongo ascomycota *Botrytis cinerea* Pers. Esta enfermedad puede afectar a todos los órganos verdes de la vid, sin embargo, los racimos son los que se ven más afectados y pueden determinar grandes pérdidas productivas (Keller et al., 2003).

De acuerdo con McClellan y Hewitt (1973), la infección del inóculo primario del hongo *Botrytis cinerea* ocurre durante la floración a través del estigma y luego hacia el extremo estilar de las flores. Allí, se mantiene latente hasta las etapas del crecimiento y desarrollo de las bayas donde retoma su crecimiento y ocasiona la podredumbre.

Según Williamson et al. (2007), un importante mecanismo de supervivencia de *Botrytis cinerea* es el desarrollo de esclerotos en los tejidos senescentes de la vid. Los esclerotos comienzan a crecer a principios de la primavera para producir conidióforos con conidios, que sirven como fuente principal de inóculo en el cultivo. El micelio también sobrevive en los tejidos muertos del huésped previamente infectados (hojas, flores y frutos momificados) que quedan como restos del cultivo, sirviendo como inóculo primario. Estos mismos autores indican que los conidios están regulados por las fluctuaciones de temperatura y humedad, por lo que una rápida disminución de la humedad con el aumento de la temperatura a primera hora de la mañana provoca la torsión y el secado de los conidióforos, que expulsan los conidios a las corrientes de aire. Las gotas de agua también pueden dispersar los conidios, pero probablemente no sea un método de dispersión principal.

Los síntomas en los racimos durante el período floración-cuajado son casi imperceptibles. Durante el período que va de enero a cosecha las bayas afectadas se pudren tomando una coloración castaña, luego se agrietan y finalmente se deshidratan (Alaniz et al., 2016).

La podredumbre Gris se ve agravada por la alta humedad, la falta de luz y las temperaturas moderadas. De acuerdo a Thomas et al. (1988), el mayor desarrollo de conidios se alcanza con temperaturas de 21°C, humedad relativa del 94% y vientos (brisa) de 0.6 m/s. Sin embargo, estos autores indican que también es posible el desarrollo de conidios con rangos de 16°C a 26°C, con humedad de 90 a 94% y vientos de 0.3 m/s para la temperatura media más alta (26°C). Otro resultado importante es que con temperaturas de 30°C no hubo desarrollo de conidios, independientemente de la humedad relativa y la velocidad del viento.

Un estudio realizado por Nair y Allen (1993) indican que el rango de temperaturas óptimas para la infección de flores y bayas se ubica entre 20,8 y 23,7°C. Por su parte Ciliberti et al. (2015) indican que con temperaturas de 10°C o menores y de 30°C o superiores, la infección por *Botrytis cinerea* es muy baja o inexistente.

En relación a lo anteriormente mencionado, según Williamson et al. (2007), en el manejo del cultivo, es útil crear un dosel abierto que proporcione una adecuada

circulación del aire y una buena intercepción de la luz, de modo que las gotas de agua de lluvia se sequen lo antes posible.

### 2.3. DESHOJADO DE LA VID PREVIO A LA FLORACIÓN

Los aspectos de gestión del follaje deben discutirse dentro de un contexto de gestión global que permita optimizar la vid de cara a la producción de uvas de gran calidad (Hunter & Archer, 2002).

Existen distintos momentos del desarrollo fenológico del cultivo en los cuales es posible llevar a cabo la práctica cultural del deshojado de las plantas, que consiste en suprimir las hojas basales de los pámpanos alrededor de la zona fructífera (Tardáguila & Bertamini, 1993). Esos momentos en los que se realice el deshojado permitirán eventualmente cumplir con distintos objetivos agronómicos.

A diferencia de los deshojados tradicionales (entre cuajado y envero, y en pre cosecha) que se realizan para mejorar las condiciones microclimáticas del racimo y facilitar otras labores vitícolas (Verdenal et al., 2013), el deshoje precoz o pre-floración consiste en la eliminación de 6 a 8 hojas basales en el período comprendido entre los estados 17 y 19 (Coombe, 1995). Estos estados corresponden a las inflorescencias bien desarrolladas recubiertas con sus caliptras (estado 17) y la separación de botones florales con la apertura de las primeras flores (estado 19) respectivamente.

El estado de prefloración 17 según Coombe (1995) previamente mencionado, en el que el óvulo está listo para recibir el tubo polínico, es un momento crítico del ciclo fenológico de la vid. Durante esta etapa fenológica, la fuente de carbohidratos que hasta este momento correspondía a las partes perennes de la planta (raíces, tronco y tallos), pasará a corresponder a las hojas basales de los pámpanos que ya presentan plena actividad fotosintética y son capaces de proveer de fotoasimilados a las inflorescencias en desarrollo (Lebon et al., 2008).

Distintos autores mencionan diferentes objetivos para los cuales aplicar el deshoje prefloración. Por ejemplo, Poni et al. (2004) mencionan que el deshoje precoz tiene como principal objetivo regularizar la producción de uva, la cual depende de la relación entre el rendimiento productivo y la disponibilidad de fotoasimilados en el momento de pre-floración.

Balsari y Scienza (2004) indican que el objetivo principal del deshojado es garantizar en la zona de los racimos las condiciones óptimas de ventilación e iluminación para permitir una correcta maduración de las uvas y limitar la incidencia de enfermedades fúngicas, en particular de Podredumbre Gris.

Mientras que en un meta-análisis utilizando 59 publicaciones que describen la respuesta de las vides a la remoción de hojas en pre-floración, VanderWeide et al. (2021) indican que la eliminación precoz de las hojas restringe la disponibilidad de carbohidratos a la inflorescencia, lo que acelera la abscisión de las flores y causa una reducción en el cuajado del fruto, disminuyendo significativamente el rendimiento en un 26%. Además, estos autores explican que la reducción del cuajado del fruto reduce significativamente la compacidad de racimo, lo que, a su vez, conduce a una reducción en la incidencia y severidad de la pudrición del racimo de entre un 55 y un 60%. Este análisis también revela una fuerte correlación entre el aumento porcentual en varios parámetros de calidad de la fruta, como los sólidos solubles totales, el pH, las antocianinas y los polifenoles.

Del mismo modo, en un estudio posterior realizado por Arrillaga et al. (2021), se menciona que el deshojado en prefloración se mostró como una alternativa eficaz para reducir la incidencia de podredumbres a nivel de los racimos, debido a que promueve una mejor exposición del racimo y disminuye su compacidad. Adicionalmente, el deshojado precoz mejora algunos aspectos vinculados a la composición de la uva como la concentración de sólidos solubles y el potencial antociánico, aunque a expensas de un significativo descenso del rendimiento.

El deshoje prefloración termina con la paradormancia causada por las hojas que inhibían el crecimiento de la yema pronta, estimulando así el crecimiento de brotes secundarios. Esta brotación es la principal causa de recuperación de área foliar luego del deshojado (Hunter, 2000).

Del mismo modo Hunter y Visser (1990) sugieren que al realizar un deshojado temprano la brotación secundaria sustituye las hojas principales, y las nuevas hojas son capaces de estimular su actividad fotosintética.

Poni et al. (2008) demostraron que las plantas de vid sometidas a un deshoje previo a la floración de las primeras 6 hojas de cada pámpano, inicialmente disminuyeron su capacidad fotosintética, pero luego fueron capaces de incrementar la capacidad de

fijación de carbono gracias a la mayor actividad de las hojas remanentes y de las nuevas hojas surgidas a partir de la brotación secundaria.

Los experimentos de Poni et al. (2006) trabajando sobre viñedos comerciales de las variedades *Sangiovese* y *Trebbiano* y Poni et al. (2009) sobre las variedades *Barbera* y *Lambrusco salamino*, determinaron que el deshoje previo a la floración es una técnica eficaz para mejorar la composición de la uva en cultivares de *Vitis vinifera* L. cultivados a campo mediante un aumento en la relación fuente-fosa y una mayor cantidad hollejo por baya (mayor relación hollejo/pulpa). Además, sostienen que la mejora del microclima del racimo tras el deshojado podría haber influido positivamente en el crecimiento del epicarpo (epidermis e hipodermis), lo que a su vez resultó en mayores concentraciones de antocianos, polifenoles y sólidos solubles, como resultado de una mayor disponibilidad de asimilados por unidad de cosecha.

Verdenal et al. (2017) al analizar la variedad tinta *Pinot Noir*, mencionan que la eliminación de hojas en la etapa temprana de prefloración tuvo enormes consecuencias en el desempeño agronómico de la vid, disminuyendo el cuajado de las bayas que provocó una disminución del rendimiento. Sin embargo, los tratamientos de defoliación provocaron un significativo aumento del grosor del hollejo de las bayas, que modificó positivamente la composición del mosto y del vino.

## 2.4. REGULADORES DEL CRECIMIENTO A NIVEL DE LAS BAYAS

### 2.4.1. Hormonas promotoras del crecimiento vegetal producidas por las plantas

Las hormonas vegetales o fitohormonas pueden ser definidas como un grupo de sustancias orgánicas, sintetizadas por las plantas, que tienen la capacidad de afectar a los procesos fisiológicos en concentraciones mucho más bajas que los nutrientes o las vitaminas. El control de la respuesta hormonal se lleva a cabo a través de cambios en la concentración y la sensibilidad de los tejidos a las hormonas (Azcón-Bieto & Talón, 2008).

El control de los procesos fisiológicos de las plantas depende de la compleja integración entre las señales ambientales y los factores endógenos, mediada por interacciones entre fitohormonas. Estas hormonas interactúan de diferente manera dependiendo de la etapa de crecimiento en la que se encuentre la planta (Fortes et al., 2015).

El crecimiento y desarrollo de las bayas empieza con la fecundación de las flores y continúa hasta la madurez de las uvas. Durante este proceso se distinguen tres fases. Inicialmente la fase herbácea, seguida por la fase traslúcida y de cambio de color, y finalmente la fase de maduración. Todas ellas reguladas por hormonas promotoras del crecimiento (Champagnol, 1984).

Según Davies et al. (1997), las principales fitohormonas promotoras del crecimiento involucradas en el proceso de floración son las auxinas, citoquininas y giberelinas. Estos autores mencionan que luego del cuajado, son las semillas quienes las producen para promover la división y multiplicación celular de la baya. Posteriormente, durante el envero, la concentración de fitohormonas en la planta disminuye, generándose un pico de ácido abscísico. Finalmente concluyen, que este aumento está relacionado con la síntesis de pigmentos y un mayor transporte de azúcares hacia la baya.

#### 2.4.1.1. Giberelinas

Según Azcón-Bieto y Talón (2008), las giberelinas (GAs) son compuestos naturales que actúan como reguladores endógenos del crecimiento y el desarrollo en los vegetales superiores. Las GAs son, por tanto, fitohormonas u hormonas nativas que afectan, regulan o modulan múltiples y variadas respuestas del crecimiento. Los efectos más evidentes se observan en la estimulación del crecimiento del tallo, la inducción del desarrollo del fruto y la germinación de las semillas.

Por su parte, Yamaguchi (2008) menciona que las giberelinas son una familia de hormonas que regulan positivamente el crecimiento de la planta, especialmente la elongación de tallos. También promueven la movilización de reservas y germinación de semillas, así como el desarrollo floral y de frutos.

La biosíntesis de GAs se inicia en los proplastidios y finaliza en el citoplasma. Los genes que codifican las enzimas biosintéticas se agrupan en pequeñas familias multigénicas, y se expresan diferencialmente. La biosíntesis de GAs está sometida a controles internos como la retroalimentación negativa, y a factores ambientales como el fotoperíodo (Azcón-Bieto & Talón, 2008).

Yamaguchi (2008) indica que la síntesis de GAs ocurre en varios lugares. En plántulas, la síntesis y presencia de altos contenidos de estas hormonas se detecta en hojas y yemas en activo crecimiento; y en material adulto, a nivel de frutos y en menor medida

en raíces. Sin embargo, el mismo autor indica que formas activas de GAs no se encuentran en todos los órganos de síntesis, dado que sólo algunas fases de la síntesis pueden ocurrir en ellos. Entonces, explica que distintos intermediarios se encuentran fluyendo por el floema, distribuyéndose a varios órganos de destino donde se completa la conversión a moléculas activas. Determinando que el largo del fotoperíodo y condiciones de bajas temperaturas son determinantes en la conversión de intermediarios o GAs de formas inactivas a moléculas activas.

De acuerdo con Dorcey et al. (2009), las giberelinas intervienen en los distintos puntos de la planta que se encuentran en activo desarrollo y en particular en el fruto, sobre todo desde el momento de la fecundación del óvulo, hasta sus etapas iniciales de crecimiento.

Según Srinivasan y Mullins (1981), la inducción floral, es un fenómeno que es inhibido por giberelinas activas. Las giberelinas sintetizadas por el fruto, prácticamente no salen de la baya y son utilizadas por el embrión en las diferentes reacciones metabólicas que ocurren dentro del ovario. Pero al mismo tiempo hay otros órganos de la planta que están sintetizando giberelinas, como son los ápices en crecimiento de los brotes. Si estos se encuentran a la sombra, mayor será la síntesis de GAs para provocar un alargamiento de los entrenudos que le permitan a la planta alcanzar zonas de mayor luminosidad, produciendo así más fotoasimilados, necesarios para su crecimiento y desarrollo. Además, estos autores mencionan que los aumentos en los niveles de GAs en los entrenudos, actúan directamente en las yemas contiguas, provocando una inhibición de la inducción floral y por ende una disminución en la fertilidad de las yemas.

Un estudio realizado por Casanova et al. (2009) demostró que la aplicación de ácido giberélico (GA3) aumenta el tamaño de las bayas. La respuesta depende del estado fenológico de la vid en la fecha de tratamiento y de la concentración aplicada. Desde el cuajado hasta 21 días después, 80 mg/L de GA3 incrementaron el peso comercial de las bayas entre un 50% y un 90%.

De acuerdo con Tello e Ibáñez (2018) y Zenoni et al. (2017), los racimos sueltos muestran mayor expresión de genes relacionados con resistencia a enfermedades, lo que indicaría que esa resistencia, no sólo es debida a características estructurales del racimo (distancia intersticial entre bayas) sino que también tiene un componente de respuesta al

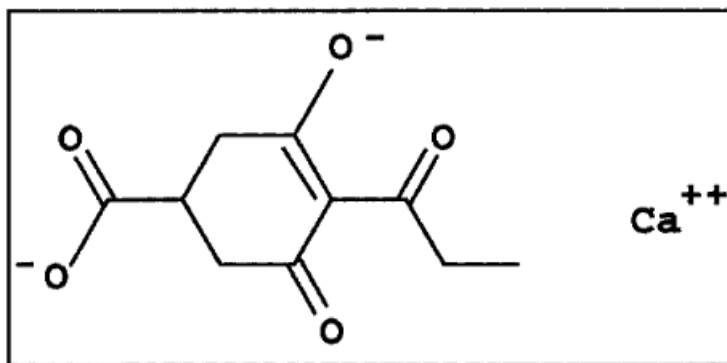
estrés biótico a nivel celular. Estos comportamientos asociados con la expresión de genes que participan en la regulación y producción de hormonas vegetales están controlados, en parte, por las giberelinas.

#### 2.4.2. Prohexadione cálcico como regulador exógeno del crecimiento vegetal

El Prohexadione cálcico (BAS-125W) es un regulador del crecimiento vegetal que BASF Corporation y Kumiai Chemical Industry Co. Ltd. desarrollaron para su registro en Estados Unidos. Este producto inhibe la biosíntesis de giberelinas bloqueando las dioxigenasas, que requieren 2-oxogluterato como co-sustrato (Evans et al., 1999). Los mismos autores mencionan que el resultado es una disminución de la elongación celular y un crecimiento vegetativo reducido. Los niveles de giberelinas se reducen en la planta durante 3 a 4 semanas después de la aplicación de este regulador de crecimiento.

#### **Figura 1**

*Estructura del Prohexadione Cálcico*



*Nota.* Tomado de Evans et al. (1999).

En un estudio realizado por Nakayama et al. (1990), se estudió la inhibición de la biosíntesis de giberelinas por Prohexadione cálcico. El Prohexadione cálcico fue capaz de inhibir diversos pasos de oxidación de la síntesis de giberelinas, catalizados por enzimas solubles que requieren 2-oxoglutarato, Fe<sub>24</sub> y oxígeno.

Rademacher (2000) determinó que el Prohexadione cálcico actúa como un mimético estructural del ácido 2-oxoglutarico. Esto hace que se bloqueen distintas dioxigenasas implicadas en la biosíntesis de giberelinas, que requieren este compuesto como co-sustrato (p. ej., la GA<sub>20</sub> 3β-hidroxisilasa). Como resultado, se forman giberelinas con menor actividad de crecimiento.

Según Roemmelt et al. (2003), la flavanona 3-hidroxilasa dependiente de 2-oxoglutarato, que se clasifica como una dioxigenasa, es bloqueada por el Prohexadione cálcico. Este bloqueo, da lugar a la activación de una nueva vía metabólica que conduce a la formación de 3-desoxicatequinas y compuestos derivados, así como a la síntesis de nuevos flavonoides y otros fenilpropanoides. Simultáneamente, los mismos autores mencionan que se observa un incremento en el contenido de compuestos distintivos y regulares de este tipo. En consecuencia, el Prohexadione cálcico induce reacciones de defensa en las plantas al modificar, tanto cualitativa como cuantitativamente, el espectro de flavonoides y otros fenilpropanoides presentes. Finalmente, el artículo concluye que estos cambios en la composición metabólica son indicativos de mecanismos adaptativos que pueden contribuir a la resistencia de las plantas frente a factores de estrés ambiental.

El análisis de los efectos del Prohexadione cálcico en el metabolismo de plantas y animales realizado por Evans et al. (1999), revela que este compuesto es rápidamente bioconvertido en productos naturales. Estos autores determinaron que a nivel del suelo, el Prohexadione cálcico se metaboliza predominantemente a dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), presentando una vida media inferior a un día. Mientras que, a nivel de la planta, el Prohexadione cálcico no persiste en esta ni afecta directamente el crecimiento vegetativo la temporada siguiente. Esta rápida degradación sugiere un bajo potencial de persistencia en el medio ambiente. Además, evaluaciones regulatorias y estudios experimentales indican que el Prohexadione cálcico presenta baja persistencia en el ambiente, debido a su rápida degradación y metabolismo, sin evidencias de efectos adversos significativos sobre organismos no objetivo (European Food Safety Authority [EFSA], 2010; Evans et al., 1999; Rademacher, 2000). Estos antecedentes respaldan su consideración como una alternativa de bajo impacto ambiental en sistemas agrícolas.

Vaquero-Fernández et al. (2009) trabajando sobre la variedad *Tempranillo*, demostraron que la aplicación de Prohexadione cálcico en prefloración provocó una reducción en el rendimiento comercial, en el número de racimos y en el tamaño de las bayas. Como resultado se obtuvieron mayores concentraciones de compuestos aromáticos y fenólicos en las uvas, y mejoras significativas en las condiciones sanitarias del racimo. Además, se observó una maduración más temprana y homogénea de las uvas, evidenciada por un aumento en los grados Brix. Durante el proceso de fermentación, se registró una mayor extracción de compuestos fenólicos, atribuida al incremento en la relación hollejo-

pulpa de las bayas. La aplicación de Prohexadione cálcico también modificó las características sensoriales de los vinos elaborados a partir de vides tratadas, potenciando atributos organolépticos típicos de los vinos Tempranillo. Estos hallazgos, evidencian que la utilización de Prohexadione cálcico no solo optimiza la sanidad del cultivo y puede ser usado como una alternativa viable al aclareo de racimos, sino que también contribuye a la mejora de la calidad enológica del vino.

Molitor et al. (2011) evaluaron la eficacia de métodos culturales (deshojado) y químicos (reguladores del crecimiento vegetal y fungicidas específicos contra *Botrytis cinerea*) para el control de la podredumbre gris causada por *Botrytis cinerea*, en las variedades *Pinot blanc* y *Pinot gris*. La aplicación del regulador del crecimiento vegetal Regalis® (ingrediente activo: Prohexadione cálcico) condujo a una estructura de racimo significativamente más abierta y a una leve disminución en la severidad de la enfermedad. El deshojado provocó una ligera disminución en la compacidad de los racimos y mostró una mayor eficacia frente a *B. cinerea* que los tratamientos químicos, con una reducción promedio de la severidad de la enfermedad del 57 %. La mayor eficacia tanto en la apertura de la estructura del racimo como en la reducción de la incidencia de *B. cinerea* (promedio del 75 %) se obtuvo al combinar el deshojado con la aplicación de Prohexadione cálcico. Resultados similares se observaron al combinar el deshojado con la aplicación de un botricida. Por lo tanto, el estudio infiere que las estrategias combinadas de deshojado y aplicación de Prohexadione cálcico pueden recomendarse en conjunto para maximizar la calidad del vino.

Durante la zafra 2015-2016, Arrillaga López (2017) llevó a cabo un experimento en el cual aplicó Prohexadione cálcico. Se realizaron dos aplicaciones de Viviful® (Prohexadione cálcico), una en floración (23 E y L) y la otra, 30 días después a una dosis de 1500 ml/ha. El peso de las bayas del tratamiento con el producto fue 20 % menor al peso de baya del TC. El menor peso de baya no se relacionó a un menor rendimiento (g/planta). Con respecto a la evolución de la madurez y composición de la uva, en la investigación se observó una mejora notable en la calidad de las bayas tratadas con Prohexadione cálcico, en particular en la riqueza fenólica dada por los antocianos.

## 2.5. COMPOSICION DE LA BAYA

### 2.5.1. Sólidos solubles

De acuerdo con Andrades (1990), los hidratos de carbono presentes en las bayas están compuestos predominantemente por glucosa y fructosa, que derivan de la hidrólisis de la sacarosa sintetizada durante el proceso fotosintético, y es a partir del envero, que se observa un incremento progresivo en la acumulación de sólidos solubles en la baya. En concordancia, Coombe (1973) señala que la concentración de estos compuestos aumenta a partir del inicio de la fase de maduración, que coincide con el envero. La principal causa de dicha acumulación de azúcares radica en la translocación de la sacarosa desde las hojas fotosintéticamente activas y las reservas hacia las bayas (Keller, 2015).

Prácticas de manejo del cultivo, como la remoción de hojas en la zona de los racimos, incrementan la capacidad de las bayas para acumular azúcares, lo que a su vez genera un aumento de la temperatura en los tejidos de las mismas (Hunter & Visser, 1990). Además, el mismo estudio indica que el aumento de los niveles de azúcar en el hollejo, debido a la remoción de hojas en la zona de los racimos, parece estar asociado con una mayor concentración de antocianina.

Según la tesis doctoral de Diago (2010) realizada en la Universidad de La Rioja, el deshojado precoz indujo un aumento significativo en la concentración de azúcares en la baya. Del mismo modo, en un estudio realizado por Moreno Cardona (2019), los resultados han mostrado que el deshojado precoz provocó un incremento de la concentración de los sólidos solubles totales mejorando esta característica físico-química de las uvas y, en consecuencia, aumentó el potencial enológico de los vinos.

Keller (2015) señala que los sólidos solubles que están constituidos principalmente por azúcares como glucosa y fructosa, representan uno de los componentes mayoritarios del mosto. Su acumulación durante la maduración de la baya resulta determinante para el potencial alcohólico del vino, al actuar como sustrato de la fermentación alcohólica.

### 2.5.2. Acidez

Para Peynaud (1984), la acidez constituye uno de los parámetros determinantes del estado de madurez de la uva y un factor esencial para la evaluación de la calidad de

la vendimia, así como para la definición del destino enológico de las bayas. Cuando el mosto obtenido a partir de la molienda de las bayas presenta una acidez equilibrada, es posible elaborar vinos estables y con características organolépticas promisorias.

Diversos estudios como los realizados por Mato et al. (2005), Conde et al. (2007) y Boulton et al. (1999), coinciden en que los principales ácidos orgánicos presentes en la uva son el tartárico y el málico, los cuales constituyen entre el 70 y el 90 % del total. En proporciones menores se encuentran otros ácidos, como el cítrico, oxálico y succínico, entre otros. De acuerdo con Ribéreau-Gayon et al. (2006), el ácido tartárico es el que ejerce la influencia más significativa sobre el pH del mosto, siendo el más característico de la uva.

Coombe (1973) determinó que la concentración de ácido málico alcanza su valor máximo durante el envero y disminuye de manera progresiva a lo largo del período de maduración. Este ácido se sintetiza principalmente en las hojas y es posteriormente traslocado hacia las bayas, las cuales poseen cierta capacidad de síntesis propia, aunque la mayor proporción proviene del follaje.

Los ácidos málico y tartárico son los principales responsables de la evolución de la acidez durante el proceso de maduración. La disminución de la acidez total se explica principalmente por la degradación del ácido málico, cuya tasa de consumo es más rápida en comparación con la del ácido tartárico, el cual se mantiene relativamente estable o presenta un descenso más gradual (Andrades, 1990; Viñals Capell, 1954).

Diversos autores, entre ellos Coombe (1973), Ribéreau-Gayon et al. (2006) y Andrades (1990), señalan que durante el proceso de maduración de la baya la acidez disminuye, tanto por el efecto de dilución derivado del importante ingreso de agua a las células desde el envero hasta la madurez, como por la degradación del ácido málico. Este último proceso se ve especialmente favorecido por las altas temperaturas, que incrementan la actividad respiratoria del fruto.

La exposición de los racimos a la radiación solar directa provoca una aceleración en el proceso de degradación de los ácidos orgánicos presentes en la baya. En consecuencia, prácticas de manejo como el deshojado en la zona de los racimos tienden a intensificar este fenómeno (Spayd et al., 2002). Este comportamiento coincide con los resultados reportados por Diago (2010), quien observó que la defoliación temprana ejerce

un efecto significativo sobre la acidez, produciendo una disminución notable del pH, de la acidez total y de la concentración de ácido tartárico.

### 2.5.3. pH

González-Neves et al. (2010) señalan que el pH constituye un indicador relevante para la evaluación de la calidad del mosto, y que sus valores se encuentran directamente relacionados con atributos enológicos.

El pH representa la acidez real de la uva y se encuentra estrechamente asociado con la concentración de los ácidos málico y tartárico. En consecuencia, las variaciones en los niveles de estos compuestos en la baya se reflejan en modificaciones en los valores de pH (Peynaud, 1984).

Durante el proceso de maduración se produce un incremento del pH, consecuencia de la disminución de los ácidos orgánicos presentes en la baya (Andrades, 1990).

Estudios realizados por Poni et al. (2006) evidenciaron un incremento del pH en la variedad *Trebbiano* tras la aplicación de un deshojado en prefloración, fenómeno que podría estar asociado a una mayor producción *in situ* de ácido tartárico. No obstante, Diago (2010) señala que esta práctica no presenta, en general, una tendencia definida respecto a su efecto sobre el pH, variable que parecería depender principalmente del genotipo y de las condiciones ambientales específicas de cada año.

González-Neves et al. (2006) determinaron a lo largo de tres años de estudio en diversas variedades, entre ellas *Tannat*, que el rango de pH en el momento de la cosecha oscila entre 3,33 y 3,58.

### 2.5.4. Compuestos fenólicos

Los compuestos comúnmente denominados polifenoles, forman parte del metabolismo secundario de las plantas. Se caracterizan por ser solubles en agua y encontrarse localizados principalmente en la vacuola celular. Desde el punto de vista químico, se definen como sustancias que poseen un anillo aromático con, al menos, un grupo hidroxilo unido a su estructura molecular. En el hollejo de bayas de *Vitis vinifera* L. se han identificado varios cientos de polifenoles (Kennedy et al., 2006).

Los compuestos fenólicos se clasifican, de manera general, en dos grandes categorías: flavonoides y no flavonoides (Harborne, 1989; Ribéreau-Gayon et al., 2006). Los no flavonoides están constituidos principalmente por ácidos cinámicos y benzoicos, los cuales se localizan mayoritariamente en las células de la pulpa. Por su parte, los flavonoides comprenden diversas familias de relevancia enológica, entre las que destacan los antocianos, flavonoles, flavan-3-oles (taninos) y los dihidroflavonoles. Los antocianos se encuentran en las vacuolas de las células del hollejo, específicamente en invaginaciones denominadas antocianoplastos (Peck et al., 1980), así como en la pulpa de las variedades “tintoreras”. En tanto, los taninos se localizan tanto en los hollejos como en las semillas, siendo los compuestos fenólicos de mayor abundancia y relevancia enológica (Keller, 2015).

González-Neves et al. (2006), Ribéreau-Gayon et al. (2006) y Keller (2015) coinciden en que, aunque los polifenoles se encuentran en proporciones relativamente bajas dentro de la baya, su contribución a la calidad enológica es esencial. Estos compuestos determinan atributos sensoriales clave del vino, como el color, la astringencia y la estructura propia de los vinos tintos, además de intervenir en reacciones de oxidación y polimerización que condicionan la estabilidad cromática y la evolución del vino durante su maduración y crianza.

Peña-Neira et al. (2023) observaron que durante la maduración y el almacenamiento post-cosecha los antocianos de la piel aumentaron con la maduración. Además, los genes vinculados a la vía de los flavonoides incrementaron su expresión desde el envero hasta la madurez.

Blancquaert et al. (2019) indican que los compuestos fenólicos de la baya muestran variaciones importantes durante la maduración y que son afectados por la luz, la temperatura, la posición del racimo y otros factores ambientales. Mientras que Carbonell-Bejerano et al. (2014) demostraron que la radiación UV solar es necesaria para potenciar la transcripción de genes relacionados con fenoles y para la acumulación de flavonoles y antocianos en las bayas durante la maduración.

Diago et al. (2012), estudiando la variedad *Tempranillo* (durante la temporada 2007-2008) y analizando el perfil de polifenoles del vino tras el deshoje precoz, observaron que la remoción temprana favoreció mayores concentraciones de flavonoles

y antocianos. De igual manera, Bubola et al. (2017), estudiando la variedad *Teran* durante las temporadas 2012-13, encontraron que el deshoje prefloración aumentó la concentración total de fenoles en las bayas en un 19 % respecto al testigo, y los antocianos totales aumentaron alrededor de un 20 %.

## 2.6. ANATOMÍA E HISTOLOGÍA DE LAS BAYAS DE VID

En el estudio de los frutos de *Vitis vinifera L.*, es fundamental diferenciar los niveles estructurales que conforman su organización. La anatomía y la histología de la baya representan enfoques complementarios pero distintos, ya que analizan la relación entre estructura y función durante el desarrollo y maduración del fruto, aunque difieren en su escala, objeto de estudio y propósito descriptivo y funcional (Esau, 1977; Keller, 2020).

Según Keller (2020), la anatomía de la baya de la vid describe la organización interna del fruto, conformada por tres regiones principales:

- Epicarpo o Exocarpo (hollejo): incluye la epidermis con cutícula cerosa y una hipodermis subyacente con pigmentos fenólicos.
- Mesocarpo (pulpa): formado por células parenquimáticas grandes donde se acumulan agua, azúcares y ácidos orgánicos.
- Endocarpo: capa interna con paredes lignificadas que rodea las semillas.

Estos tejidos se interconectan a través del sistema vascular (xilema y floema) que ingresa por el pedicelo y distribuye agua y solutos en el fruto (Coombe & McCarthy, 2000; Keller, 2020).

La histología de la baya estudia los tejidos que constituyen el fruto a nivel microscópico y celular, analizando su ultraestructura, composición y características fisiológicas (Fahn, 1990; Taiz et al., 2015). En este contexto, Keller (2020) resalta que las modificaciones histológicas (como la expansión vacuolar de las células del mesocarpo y la desorganización del xilema durante el envero) desempeñan un papel crucial en la dinámica de maduración y en la composición final de la baya, al influir directamente en los procesos de transporte, acumulación de solutos y desarrollo funcional de los tejidos.

Diversos trabajos científicos han desarrollado la relación existente entre la estructura del hollejo de las bayas de *Vitis vinifera* L. con parámetros productivos y enológicos. Goulao et al. (2012) a partir del análisis del genoma de *Pinot Noir*, señalan que la pared celular de las células del hollejo y de la pulpa son determinantes sobre la calidad de la uva y del vino. Posteriormente, tanto Hernández-Hierro et al. (2014) investigando sobre el cv. *Tempranillo* como Boulet et al. (2024) exhibieron en sus trabajos cómo la composición del material de la pared celular del Epicarpo se correlaciona con la extractabilidad de antocianos.

André et al. (2021) evaluaron durante la maduración la estructura física, anatómica y bioquímica de las paredes celulares del hollejo de bayas de los cultivares *Chardonnay* y *Pinot noir*, con respecto a su susceptibilidad al hongo *Botrytis cinerea*. Concluyeron que la composición de la pared celular del hollejo, así como su anatomía y propiedades físicas, difieren significativamente entre los dos cultivares durante la maduración. *Chardonnay* que fue el cultivar con piel más gruesa y menos rígida resultó ser menos susceptible al hongo *Botrytis cinerea*.

Brizzolara et al. (2020) realizaron un trabajo con el objetivo de examinar la ultraestructura del hollejo de bayas de cuatro cultivares (*Aleático*, *Sagrantino*, *Sangiovese* y *Trebbiano*) al momento de la cosecha. Como resultado observaron diferencias significativas entre las variedades en cuanto a el grosor de las distintas capas celulares del hollejo. El grosor promedio de todas las variedades de la capa de cera de la cutícula más la epicuticular fue de  $3.67 \pm 0.29$  ( $\mu\text{m}$ ), el de la epidermis fue de  $13.87 \pm 1.71$  ( $\mu\text{m}$ ) y el de la hipodermis fue de  $272,95 \pm 12,56$  ( $\mu\text{m}$ ).

Battista et al. (2015) evaluaron si existía relación entre el espesor del hollejo de la baya y el número de capas celulares de la epidermis y la hipodermis de la variedad *Corvina*. Contrario a lo que se esperaba, no se encontró correlación significativa entre el espesor del hollejo y el número de capas celulares en las muestras analizadas. Sugiriendo que el espesor depende más de factores estructurales (como tamaño celular y grosor de las paredes celulares) que simplemente del recuento de capas.

### 3. MATERIALES Y MÉTODOS

#### 3.1. CARACTERÍSTICAS GENERALES DEL VIÑEDO

##### 3.1.1. Descripción del viñedo

El ensayo fue instalado el 19 de setiembre de 2017, desarrollándose la investigación durante la temporada 2017-2018 en 2 parcelas de cultivares *Tannat* y *Syrah* en el establecimiento vitivinícola Alto de la Ballena, ubicado en el departamento de Maldonado sobre la ruta nacional No. 12, km 16,4 (34°44'37''S 55°01'26''W), a 25 km de la capital departamental.

Una de las parcelas bajo estudio posee plantas del cultivar *Tannat* (*Vitis vinifera* L.), Clon 717, injertadas sobre *Gravesac*, implantadas en el año 2002. El sistema de conducción del viñedo es en espaldera alta, constituido por 5 hileras de alambres dobles, para que las plantas sean guiadas por dentro. El tipo de poda realizada es Guyot unilateral o poda larga, con un número promedio de 9 yemas por cargador con un pitón de remplazo. El cuadro tiene un área de 4.102 m<sup>2</sup> y una pendiente promedio de 10% hacia el oeste-suroeste. La orientación de las filas es NNO-SSE (perpendicular a la pendiente natural), con un largo de 60 metros. El marco de plantación es de 2,5 metros de distancia entre filas por 1 metro de distancia entre plantas, determinando una densidad de plantación de 4.000 plantas/ha. Las entrefilas se mantienen con cobertura vegetal permanente y las filas se mantienen libres de vegetación mediante la aplicación de herbicidas.

La otra parcela tiene plantas del cultivar *Syrah* (*Vitis vinifera* L.), Clon 877, injertadas sobre *Gravesac*, las cuales fueron implantadas en el año 2003. El sistema de conducción del viñedo es en espalderas altas, constituido por 5 hileras de alambres dobles. El tipo de poda realizada es Royat unilateral o poda corta, con un número promedio de 7 pitones por cordón, con dos yemas cada uno. El cuadro tiene un área de 5.250 m<sup>2</sup> y una pendiente promedio de 15% hacia el noroeste. La orientación de las filas es NO-SE (a favor de la pendiente natural), con un largo variable de 9 metros a 60 metros de longitud por la disposición triangular del cuadro. El marco de plantación es de 2,5 metros de distancia entre filas por 0.8 metros de distancia entre plantas, determinando una densidad de plantación de 5.000 plantas/ha. Las entrefilas se mantienen con cobertura vegetal permanente y las filas se mantienen libres de vegetación mediante la aplicación de herbicidas.

### 3.1.2. Suelos y geología del viñedo

Según la Carta de Reconocimiento de Suelos del Uruguay 1/1.000.000 (Altamirano et al., 1976), el viñedo se encuentra dentro de las Unidades de Suelos Sierra de Aiguá y José Pedro Varela. En estas unidades y en lugares con pendientes como es el caso del predio en estudio, predominan Brunosoles Subéutricos y Litosoles Subéutricos con afloramientos rocosos.

De acuerdo al Ministerio de Ganadería, Agricultura y Pesca (MGAP, 2020), el cuadro de la variedad *Syrah* se encuentra dentro del grupo Coneat 2.11b, dentro del cual se describen Litosoles Subéutricos superficiales asociados a Brunosoles Subéutricos moderadamente profundos, con elevada pedregosidad y rocosidad variable. Mientras que, el cuadro de la variedad *Tannat* se encuentra dentro del grupo Coneat 2.21, dentro del que se describen Brunosoles Subéutricos Lúvicos, francos y moderadamente profundos con mayor fertilidad natural.

Estudios previos realizados en el predio por Echeverría (2017), determinaron que las condiciones edafogeológicas del cuadro de *Syrah* permiten la exploración radicular al menos hasta los 45 a 60 cm de profundidad, el drenaje interno es bueno por la pronunciada pendiente que facilita el escurrimiento del agua de lluvia, y el espesor del suelo es moderado por lo que la capacidad de almacenar agua es media. En el cuadro de *Tannat* las raíces pueden profundizar al menos hasta los 60 cm, el drenaje interno es moderadamente bueno, la elevada pendiente facilita el escurrimiento del agua de lluvia, y el espesor del suelo es moderado por lo que la capacidad de almacenar agua es media.

### 3.1.3. Variables climáticas del período de ensayo

#### 3.1.3.1. Cuantificación de las variables del clima a meso-escala

Los datos meteorológicos correspondientes al período experimental considerado de precipitación total diaria (mm) se obtuvieron de la Estación meteorológica de INUMET en Punta del Este (Instituto Uruguayo de Meteorología [INUMET], s.f.a), los de temperatura del aire media diaria (°C) se obtuvieron de la Estación meteorológica de INUMET en Laguna del Sauce (INUMET, s.f.b), y los datos de evapotranspiración potencial se estimaron en base a información del Banco de datos agroclimáticos de INIA (Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria [INIA], s.f.).

### 3.1.3.2. Cuantificación del microclima de la canopia

Las variables medidas fueron humedad relativa (%HR) y temperatura (°C). Se utilizaron sensores data logger HOBO U23 Pro v2 (® Onset Computer Corporation) con un intervalo de medición de 1 hora. Los sensores se ubicaron en los distintos tratamientos sobre los alambres de las espalderas en el correr de la mañana del día 19/9/2017. La elección de los tratamientos se realizó teniendo en cuenta posibles alteraciones en el microclima de la canopia a causa de la aplicación de los tratamientos.

## 3.2. DISEÑO EXPERIMENTAL

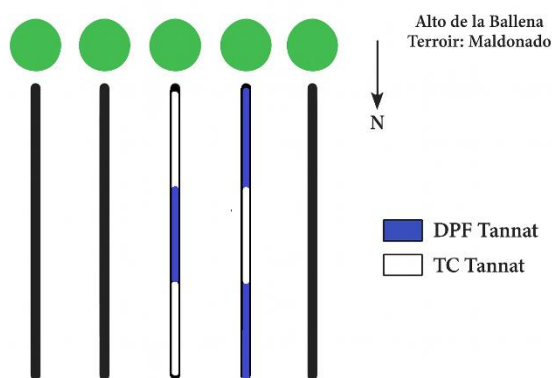
### 3.2.1. Tratamientos

El diseño experimental utilizado fue el DBCA (diseño en bloques completos al azar) en el cual se definieron 3 repeticiones por tratamiento. Cada bloque experimental cuenta con una población de 14 plantas, implicando un total de 42 plantas por tratamiento.

Durante las evaluaciones se realizaron medidas en el total de la población de cada tratamiento, así como también sobre sub-muestras aleatorias dentro de los bloques experimentales y evaluaciones en plantas particulares.

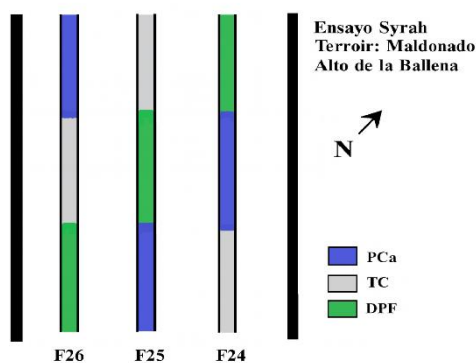
### Figura 2

*Croquis de ensayo sobre Tannat con diseño estadístico*



### Figura 3

*Croquis de ensayo sobre Syrah con diseño estadístico*



- Testigo comercial (TC): es el tratamiento de referencia, el cual incluye los manejos que realiza habitualmente el viticultor. Implica deshojado en zona de racimos a partir de cuajado.
- Deshojado prefloración (DPF): deshoje temprano (17-19 E y L) de las primeras 6-8 hojas de cada pámpano, incluyendo feminelas si estas ya han brotado. El objetivo del tratamiento es descompactar el racimo por un efecto de aborto de flores y de bayas recién cuajadas.
- Prohexadione cálcico (PCa): aplicación de Viviful (pro-hexadiona cálcica) posterior a plena floración y 30 días después, a una dosis de 1.500 ml/ha con el objetivo de descompactar el racimo.

**Tabla 1***Tratamientos*

<b>Tratamiento</b>	<b>Sigla</b>	<b>Objetivos</b>
Testigo comercial	TC	Referencia
Deshoje prefloración	DPF	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Raleo de bayas</li> <li>• Descompactación de racimos</li> <li>• Menor incidencia de Podredumbre Gris</li> <li>• Aumento del potencial enológico (por ↑ incidencia de luz)</li> <li>• Evaluar el impacto del tratamiento en la estructura celular del epicarpo de las bayas</li> </ul>
Prohexadione cálcico	PCa	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Reducción de tamaño y peso de bayas</li> <li>• Descompactación de racimos</li> <li>• Menor incidencia de enfermedades de racimos</li> <li>• Aumento del potencial enológico (por ↑ rel: hollejo/pulpa)</li> <li>• Evaluar el impacto del tratamiento en la estructura celular del epicarpo de las bayas</li> </ul>

3.2.2. Aplicación de Prohexadione cálcico

Para determinar el momento preciso de aplicación del tratamiento se realizó un seguimiento fenológico a partir del desborre con una cadencia semanal utilizando el fonograma de Eichhorn y Lorenz con la modificación propuesta por Coombe (1995).

Se efectuaron dos aplicaciones de Prohexadione cálcico. La primera tuvo lugar el 25 de noviembre de 2017, considerando que el 50 % o más de las yemas del viñedo se encontraban en plena floración, que corresponde a estadio fenológico óptimo de aplicación. La segunda aplicación se realizó el 22 de diciembre del mismo año, aproximadamente un mes después de la primera intervención.

Las aplicaciones se realizaron con una atomizadora de mochila marca Sthil Sr 200 (U.S.A), con un volumen de capacidad máximo de tanque de 14 l. El cálculo de las dosis por tratamiento se efectuó tomando en cuenta la superficie foliar en m<sup>2</sup> de cada bloque experimental.

Se consideró una altura de la zona de aplicación de 0,5 m a partir del alambre de poda y, por cada lado de la espaldera totalizando una superficie foliar por tratamiento de 30,6 m<sup>2</sup>.

A partir de las recomendaciones de dosis de los fabricantes del producto, se recalculó la dosis de producto por tratamiento tomando como referencia una superficie foliar máxima de 8000 m<sup>2</sup>/ha.

El gasto de agua se ajustó tomando, como referencia la recomendación del fabricante y la superficie foliar de los tratamientos (30,6 m<sup>2</sup>).

Para definir la velocidad de avance se realizó una calibración previa de la atomizadora, definiendo la velocidad de avance en función del gasto de agua.

La aplicación fue realizada a paso de hombre y el cálculo del tiempo de avance se efectuó en función del gasto de agua y de la calibración previamente realizada.

Una vez efectuados los cálculos de dosis, se procedió a preparar en el tanque de la atomizadora una cantidad equivalente al doble del producto y al doble de agua, con el propósito de compensar eventuales déficits en la preparación que pudieran generarse debido a un incremento en la velocidad de avance, conforme a la metodología de aplicación establecida.

Antes de la aplicación de los tratamientos, se efectuó un deshojado de intensidad moderada en la zona de los racimos, con el propósito de favorecer un mayor contacto del producto con los racimos objetivo y asegurar una distribución adecuada y homogénea de las gotas en dicha área.

### 3.3. EVALUACIÓN DE RESPUESTA E INDICADORES FISIOLÓGICOS

#### 3.3.1. Estimación del crecimiento vegetativo y evaluación del dosel

##### 3.3.1.1. Superficie foliar expuesta potencial (SFEp)

Se utilizó un método de estimación de la arquitectura del dosel basado en el análisis visual y registro fotográfico de la canopia. Mediante la utilización de una pantalla blanca colocada por detrás de las plantas y un posterior registro fotográfico, se estimó el porcentaje de cobertura de la canopia, siguiendo metodologías de caracterización del

dosel ampliamente utilizadas en vid (Diago et al., 2012; Keller, 2015; Smart & Robinson, 1991).

Para el caso de la variedad *Syrah*, es de mencionar que la estimación de la SFEP se vio afectada por la realización del despunte del cultivo (roñado) luego del cierre de racimos por parte del productor.

#### 3.3.1.2. Point quadrat

Mediante este método se realizó una descripción de la distribución de los racimos expuestos e internos, así como del número de capas de hojas. También se cuantificó el número de pámpanos y los espacios vacíos. El método utilizado fue el propuesto por Smart y Robinson (1991).

### 3.3.2. Mediciones obtenidas durante la cosecha

#### 3.3.2.1. Número y peso de racimos por planta

Al momento de cosecha se cuantifico el número de racimos de cada planta y el peso de los mismos. Para esta estimación se evaluaron un total de 7 plantas por repetición, es decir, la mitad de las plantas de cada ensayo. Sobre los racimos de esas plantas cosechadas se realizaron el resto de las posteriores evaluaciones del experimento.

#### 3.3.2.2. Compacidad de racimos

Esta medida se realizó en tres momentos: una en enero y las otras dos próximo a cosecha. El valor de compacidad se estimó de forma visual según indican Molitor et al. (2011), sobre racimos tomados de plantas impares. Tanto en enero como en cosecha se tomaron 6 racimos por repetición en los que se determinó visualmente su compacidad.

### 3.3.3. Composición de las bayas

#### 3.3.3.1. Evolución de la composición de la uva durante su maduración

A partir de enero se comenzó con el seguimiento de la maduración de las bayas. Semanalmente se recolectaron 250 bayas al azar de cada repetición, tomadas de distintas partes del racimo y de todas las plantas, siguiendo protocolos de muestreo representativo utilizados en estudios de maduración en vid (Keller, 2015). Posteriormente, en el laboratorio del viñedo se realizaron análisis de acidez titulable, sólidos solubles y pH, para determinar la madurez tecnológica.

- Sólidos solubles: su determinación se realizó por refractometría con refractómetro marca ATAGO® No. 1, Brasil, expresando el resultado en °Brix
- Acidez total: se determinó mediante titulación de NaOH 0,1 N, el reactivo utilizado fue azul de bromotimol. El resultado se expresa en gr. de H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>/lt de mosto
- pH: la medida fue registrada por potenciometría con un pH-metro marca Hanna

#### 3.3.3.2. Composición fenólica

La composición fenólica, fue analizada posterior a la cosecha mediante la utilización de un espectrofotómetro modelo Shimadzu UV-1240 Mini (Shimadzu Crop., Japón). Se procedió a medir la absorbancia de 520nm con una celda de 1mm, para cuantificar el potencial de antocianos (ApH1) y los antocianos fácilmente extraíbles (ApH3,2), según el método previamente utilizado por González Neves et al. (2006).

El índice de polifenoles totales (IPT) se estimó mediante medida de absorbancia a 280 nm.

### 3.4. ANÁLISIS HISTOLÓGICO

#### 3.4.1. Selección de muestras

Las muestras tomadas para el análisis histológico se obtuvieron a partir de bayas recolectadas durante la cosecha. Se recolectaron bayas de tres plantas por repetición, provenientes de la zona central del racimo. Se extrajeron secciones tangenciales de 2 a 4 mm de profundidad correspondientes a la zona ecuatorial de las bayas elegidas, tanto de bayas expuestas al sol como de aquellas ubicadas en el interior del racimo. Los cortes fueron fijados en una solución FAA (formaldehído, ácido acético y etanol al 70 %, en proporción 5:5:90) dentro de tubos Eppendorf durante 24 horas (Johansen, 1940), con el propósito de preservar la integridad estructural de los tejidos vegetales para su posterior análisis. Posteriormente, las muestras fueron transferidas a etanol al 70 % y conservadas a 5 °C hasta su procesamiento en laboratorio.

### 3.4.2. Inclusión, microtomía y tinción

De cada muestra fijada se extrajo un fragmento cuadrado de aproximadamente 0,25 cm<sup>2</sup> (0,5cm x 0,5cm), el cual fue procesado mediante la técnica de inclusión en parafina propuesta por Ruzin (1999). La deshidratación y la inclusión se realizaron en un procesador automático de tejidos SLEE (modelo MTP), utilizando una serie de etanol en concentraciones crecientes (del 70 al 100 %) y alcohol terciario butílico (TBA) como intermediario para la parafina.

Se realizaron cortes seriados de 7 a 10 µm de espesor utilizando un micrótopo rotatorio de precisión SLEE (modelo CUT 4062). Los cortes obtenidos se colocaron sobre portaobjetos y se sometieron posteriormente a secado en horno durante 48 horas.

Las secciones obtenidas fueron teñidas mediante una doble coloración con Safranina-Fast Green utilizando un equipo automático de tinción YIDI (modelo YABO700). Posteriormente, se montaron con bálsamo de Canadá y se cubrieron inmediatamente con cubreobjetos, a fin de permitir la observación de los cortes bajo el microscopio.

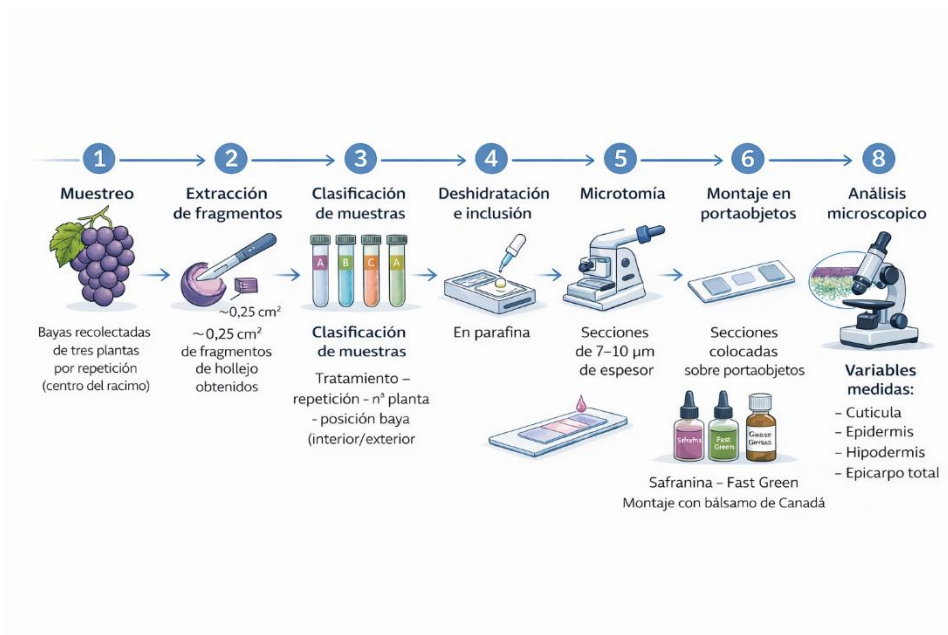
### 3.4.3. Medición de las células del hollejo

Las observaciones y análisis se realizaron utilizando un microscopio Olympus cx21 (Tokio, Japón) con objetivos 10X y 40X. Para las mediciones, se seleccionaron los cortes o secciones que ofrecían la mejor visualización de las células del hollejo. Dichas secciones se clasificaron según el tratamiento, la repetición, la planta y la posición de la baya dentro del racimo (zona interior y exterior). Se procesaron un total 180 secciones correspondientes a ambas variedades, a partir de imágenes capturadas con una cámara digital DinoCapture 2.0 y posteriormente analizadas mediante el software asociado al equipo.

Para cada muestra analizada se determinó el número de capas del hollejo y los espesores de la cutícula, epidermis, hipodermis y del total del epicarpo, a partir del procesamiento de dos secciones por portaobjetos, en las cuales cada variable fue medida tres veces por sección y posteriormente promediada para obtener un valor único.

## Figura 4

*Esquema metodológico del procesamiento histológico de bayas para el análisis del hollejo*



### 3.5. ANALISIS ESTADÍSTICO

Los datos obtenidos fueron analizados mediante el software estadístico InfoStat®2014. Con el propósito de estimar las medias de los tratamientos y realizar sus respectivas comparaciones, se efectuaron análisis de varianza (ANOVA) para las variables de interés. La comparación entre las medias de los tratamientos se llevó a cabo mediante pruebas de comparación múltiple de Tukey, Fisher y DGC con un nivel de significancia de  $\alpha = 0,05$  para todas ellas.

## 4. RESULTADOS

### 4.1. CARACTERIZACIÓN CLIMÁTICA DEL AÑO

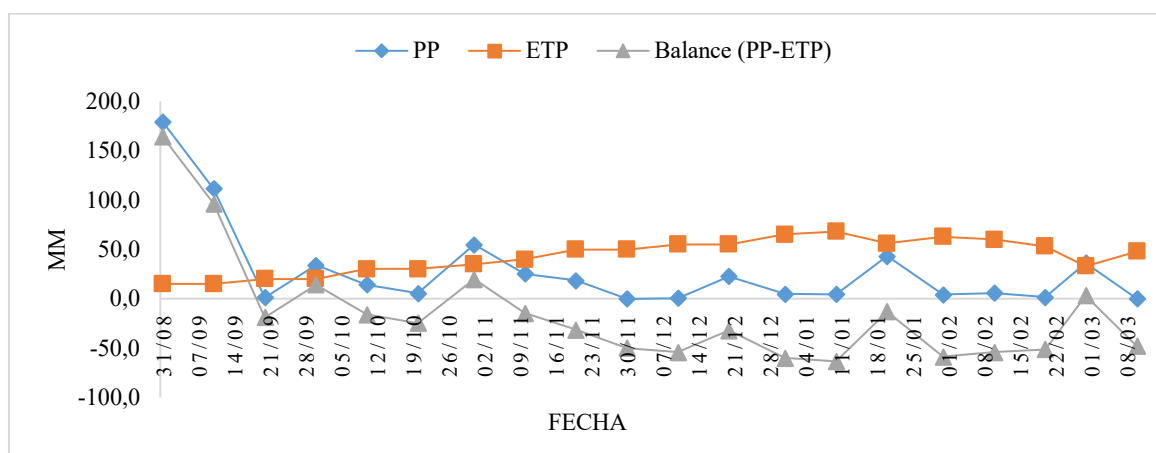
#### 4.1.1. Precipitaciones y evapotranspiración potencial

En el período comprendido entre agosto y setiembre (finales de invierno), los días previos al inicio del desarrollo vegetativo de la vid en el Sur de Uruguay, ocurrieron eventos de precipitaciones importantes acompañados de baja evapotranspiración, lo que determinó un balance hídrico generalmente positivo. De hecho, el pico más alto de precipitaciones del ciclo fue a finales de agosto de 2017.

En términos generales, el período desde brotación a cosecha se destacó por la baja ocurrencia de precipitaciones, alta evapotranspiración del cultivo y balance hídrico del suelo negativo (déficit hídrico).

#### Figura 5

*Evolución de las precipitaciones y ETP decádicos*



*Nota.* Elaborado con base en INUMET (s.f.a) e INIA (s.f.).

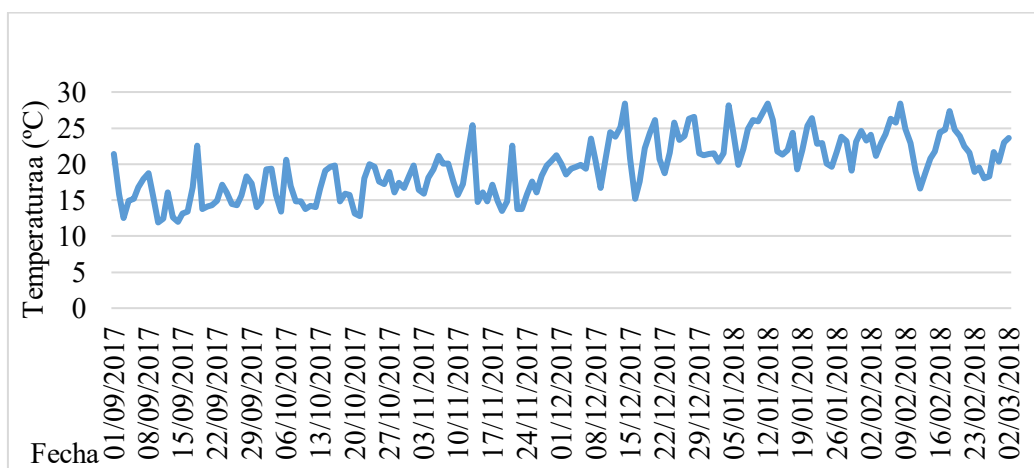
#### 4.1.2. Temperatura durante el desarrollo vegetativo

Se analizó la evolución de la temperatura del aire media diaria (°C), desde principios de setiembre del 2017 hasta principios de marzo del 2018. Las mayores temperaturas se registraron durante los meses de enero y febrero, siendo la temperatura media máxima registrada de 28,4 °C. La temperatura media de setiembre que fue el mes de inicio del desarrollo vegetativo fue de 15,5 °C, mientras que la temperatura media de febrero que fue el mes previo a cosecha fue de 22,4 °C. El día 2 de marzo de 2018 en que se realizó la cosecha, la temperatura media registrada fue de 23,6 °C.

Tanto para el cultivar *Tannat* como para *Syrah*, las temperaturas medias registradas a lo largo de los principales eventos fenológicos evidenciaron una evolución térmica característica del ciclo vegetativo. Durante la etapa inicial de floración (alrededor del 01/11/2017, estado 23 E y L), las temperaturas promedio se situaron en torno a los 17 °C. A medida que avanzó el ciclo, se observó un incremento progresivo de la temperatura, alcanzando valores medios cercanos a los 19 °C durante la fase de cierre de racimo (en torno al 01/01/2018, estado 33 E y L) y aproximadamente 24 °C en enero (hacia el 15/01/2018, estado 35 E y L). Finalmente, en los días previos a la cosecha (cerca del 02/03/2018, estado 38 E y L), se registró un leve descenso de la temperatura media.

### Figura 6

*Evolución de la temperatura media diaria (°C)*

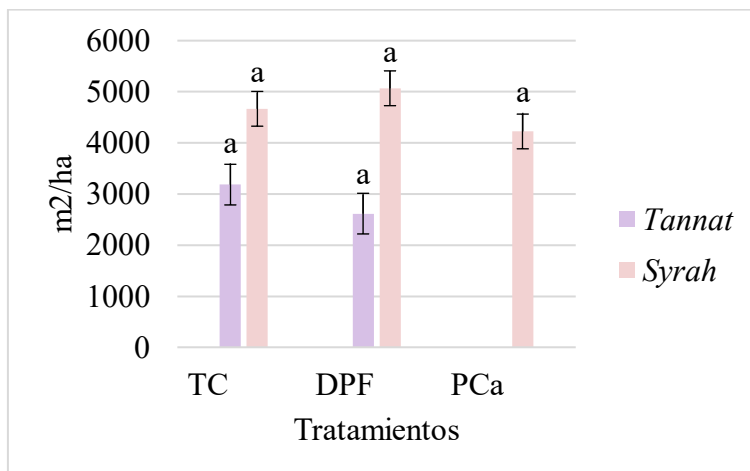


*Nota.* Elaborado con base en INUMET (s.f.b).

## 4.2. EFECTO DE LOS TRATAMIENTOS SOBRE PARÁMETROS VEGETATIVOS Y SOBRE LA SANIDAD

### 4.2.1. Superficie foliar expuesta potencial

La superficie foliar expuesta potencial (SFEp) medida en enero (17/01/2018) no mostró diferencias significativas entre tratamientos dentro de cada cultivar. Sin embargo, *Syrah* presentó valores absolutos de SFEp más altos que *Tannat*.

**Figura 7***Superficie foliar expuesta potencial*

*Nota.* Medias con una letra común en una misma variedad no son significativamente diferentes (Fisher  $\alpha=0,05$ ). Los datos completos utilizados para la elaboración de esta figura se presentan en el **Anexo A (Tabla A1)**.

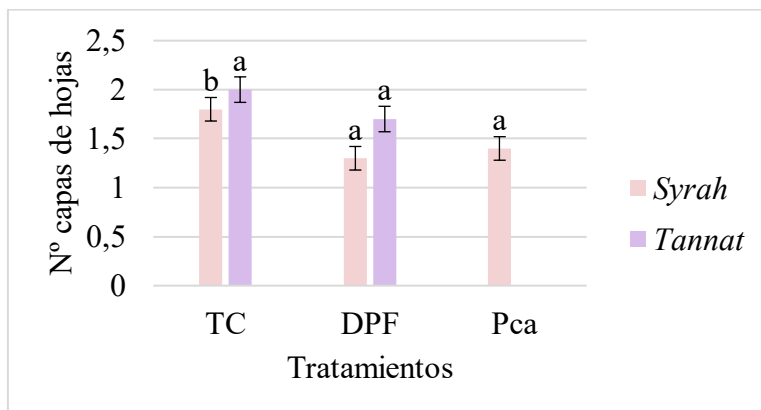
#### 4.2.2. Número de capas de hojas

En *Tannat* la cantidad de capas de hojas de la canopia registrada en enero a través del método de *Point quadrat Analysis*, no presentó diferencias significativas entre tratamientos. Sin embargo, el deshoje prefloración redujo ligeramente el número de capas de hojas (de 1,7 a 2,0), aunque no de forma estadísticamente significativa.

En *Syrah*, se observaron diferencias significativas de la cantidad de capas de hojas entre tratamientos. En este caso, el deshoje prefloración y la aplicación de Prohexadione cálcico redujeron significativamente el número de capas de hojas (1,3 y 1,4 respectivamente) frente al testigo (1,8).

**Figura 8**

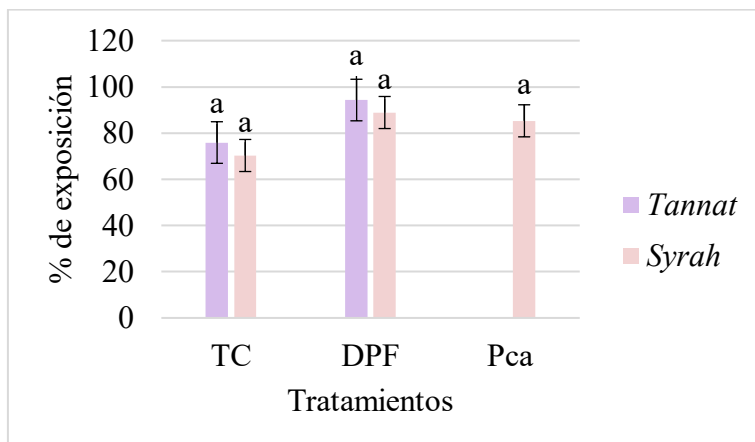
Número de capas de hojas de la canopia



*Nota.* Medias con una letra común en una misma variedad no son significativamente diferentes (Fisher  $\alpha=0,05$ ). Los datos completos utilizados para la elaboración de esta figura se presentan en el **Anexo A (Tabla A2)**.

#### 4.2.3. Proporción de racimos expuestos

La proporción de racimos expuestos en enero, evaluada a través del método *Point quadrat Analysis*, no arrojó diferencias estadísticas entre los tratamientos para ninguna de las dos variedades en estudio. Sin embargo, el deshoje prefloración incrementó notablemente los promedios de exposición de racimos tanto en *Syrah* (88,9 %) como en *Tannat* (94,3 %), comparado con sus testigos (70,3 % y 75,9 %, respectivamente).

**Figura 9***Porcentaje de racimos expuestos*

*Nota.* Medias con una letra común en una misma variedad no son significativamente diferentes (Fisher  $\alpha=0,05$ ). Los datos completos utilizados para la elaboración de esta figura se presentan en el **Anexo A (Tabla A3)**.

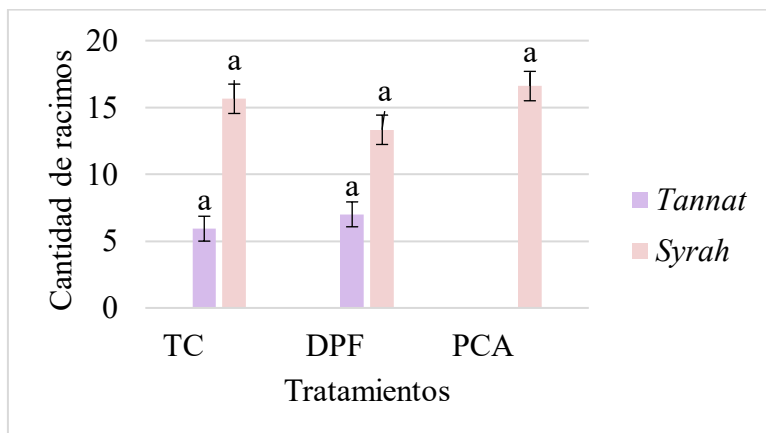
#### 4.2.4. Incidencia de podredumbre de racimos

La incidencia de podredumbre racimos causada por el patógeno *Botrytis cinerea*, tanto en *Tannat* como en *Syrah* fue nula para todos los tratamientos.

### 4.3. IMPACTO DE LOS TRATAMIENTOS EN PARÁMETROS VINCULADOS AL RENDIMIENTO PRODUCTIVO

#### 4.3.1. Número de racimos por planta

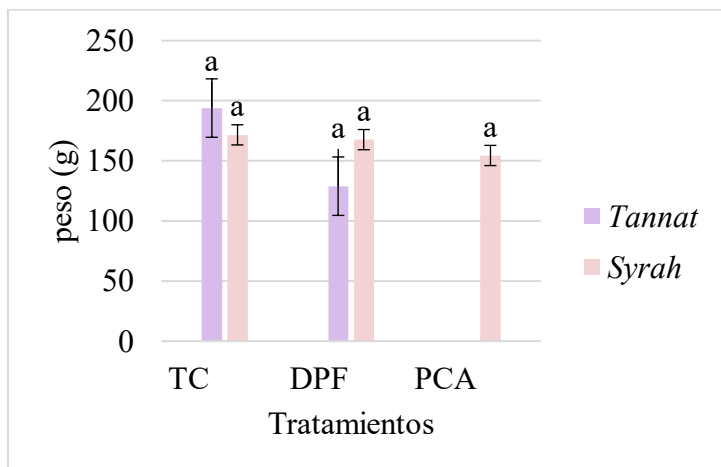
Para ambas variedades (*Syrah* y *Tannat*), los tratamientos no modificaron significativamente la cantidad de racimos producidos por planta en comparación con el testigo. Sin embargo, al comparar entre variedades se observó que el número de racimos por planta en *Syrah* fue aproximadamente el doble del registrado en *Tannat*.

**Figura 10***Número de racimos por planta*

*Nota.* Medias con una letra común en una misma variedad no son significativamente diferentes (DGC  $\alpha=0,05$ ). Los datos completos utilizados para la elaboración de esta figura se presentan en el **Anexo B (Tabla B1)**.

#### 4.3.2. Peso promedio de racimo

No se observaron diferencias significativas en el peso de racimo dentro de cada variedad. Sin embargo, en *Syrah*, el tratamiento PCa presentó racimos ligeramente más livianos (154 g) que el testigo (172 g), mientras que el DPF mostró un peso intermedio (168 g) pero con mayor uniformidad entre racimos. En *Tannat*, el peso medio de racimo se redujo de 194 g en el testigo a 129 g en el DPF.

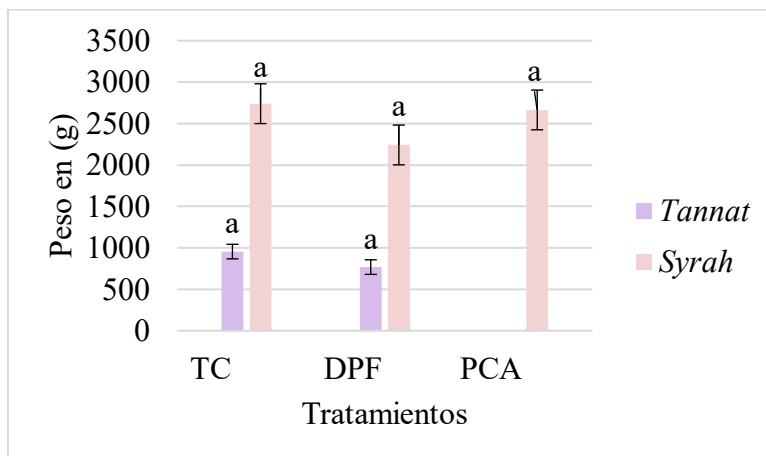
**Figura 11***Peso promedio de racimo*

*Nota.* Medias con una letra común en una misma variedad no son significativamente diferentes (DGC  $\alpha=0,05$ ). Los datos completos utilizados para la elaboración de esta figura se presentan en el **Anexo B (Tabla B2)**.

#### 4.3.3. Rendimiento promedio

Para la variedad *Syrah*, los rendimientos promedio de los tratamientos oscilaron entre 2.241,48 g y 2.739,40 g por planta. El mayor valor correspondió al TC, mientras que el tratamiento DPF presentó el menor rendimiento promedio. Sin embargo, no se detectaron diferencias significativas entre ellos.

En la variedad *Tannat*, el rendimiento promedio por planta varió entre 767,83 g y 955,03 g. El valor más elevado se registró en el TC, mientras que el DPF presentó un rendimiento inferior. Al igual que en *Syrah*, no existieron diferencias estadísticamente significativas entre los tratamientos evaluados.

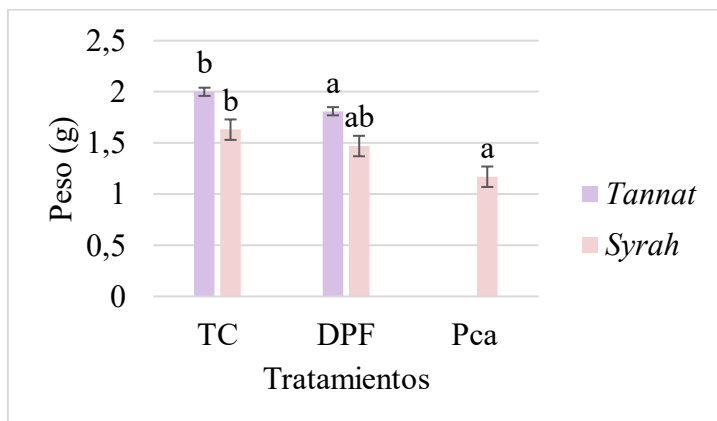
**Figura 12***Rendimiento promedio por planta*

*Nota.* Medias con una letra común en una misma variedad no son significativamente diferentes (DGC  $\alpha=0,05$ ). Los datos completos utilizados para la elaboración de esta figura se presentan en el **Anexo B (Tabla B3)**.

#### 4.3.4. Peso de la baya al momento de cosecha

En la variedad *Syrah*, el peso promedio de baya al momento de la cosecha mostró diferencias atribuibles a los tratamientos aplicados. El tratamiento testigo presentó el valor más elevado (1,63 g). El valor obtenido con deshoje temprano (1,47 g), no presentó diferencias significativas respecto al testigo, aunque se observó una ligera tendencia a la disminución del peso individual de las bayas. En contraste, la aplicación de Prohexadione cálcico redujo significativamente el peso de baya (1,17 g), conformando un grupo estadístico distinto (b).

En la variedad *Tannat*, se observaron diferencias significativas en el peso promedio de baya entre los tratamientos evaluados. El tratamiento testigo presentó el mayor valor (2,00 g), mientras que el deshoje en prefloración mostró un peso promedio de 1,81 g, conformando un grupo estadístico diferente (b).

**Figura 13***Peso de la baya en cosecha*

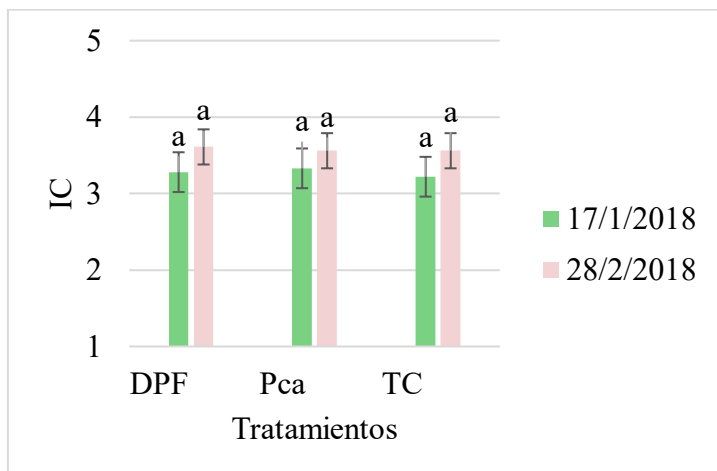
*Nota.* Medias con una letra común en una misma variedad no son significativamente diferentes (Tukey  $\alpha=0,05$ ). Los datos completos utilizados para la elaboración de esta figura se presentan en el **Anexo B (Tabla B4)**.

#### 4.4. RESPUESTA FISIOLÓGICA Y COMPOSICIÓN DE LA BAYA FRENTE A LOS TRATAMIENTOS APLICADOS

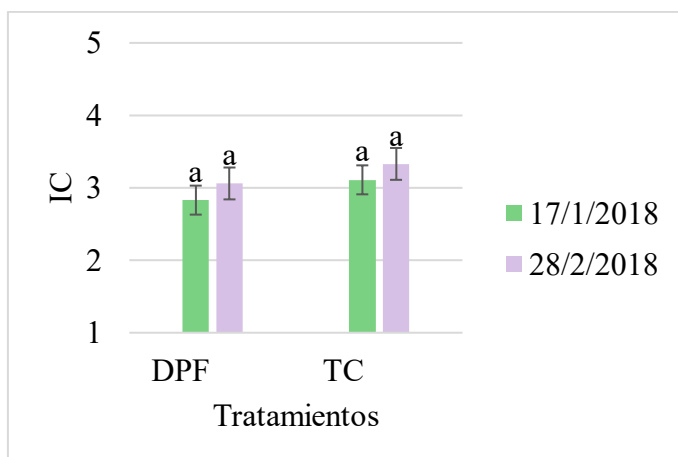
##### 4.4.1. Compacidad de racimos (IC)

En *Syrah*, no se detectaron diferencias estadísticas significativas entre los tratamientos, lo que indica que ni el deshoje en prefloración ni la aplicación de Prohexadione cálcico modificaron de forma apreciable la compacidad de los racimos durante el ciclo de maduración.

En *Tannat*, tampoco se registraron diferencias significativas entre tratamientos. Sin embargo, se observó una tendencia general a menor compacidad en el tratamiento con deshoje prefloración respecto al testigo, tanto al inicio de las observaciones (envero) como al final del ciclo (cosecha).

**Figura 14***Evolución IC de racimos en Syrah*

*Nota.* Medias con una letra común no son significativamente diferentes (LSD Fisher  $\alpha=0,05$ ). Los datos completos utilizados para la elaboración de esta figura se presentan en el **Anexo C (Tabla C1)**.

**Figura 15***Evolución IC de racimos en Tannat.*

*Nota.* Medias con una letra común no son significativamente diferentes (LSD Fisher  $\alpha=0,05$ ). Los datos completos utilizados para la elaboración de esta figura se presentan en el **Anexo C (Tabla C1)**.

#### 4.4.2. Evolución del peso de baya

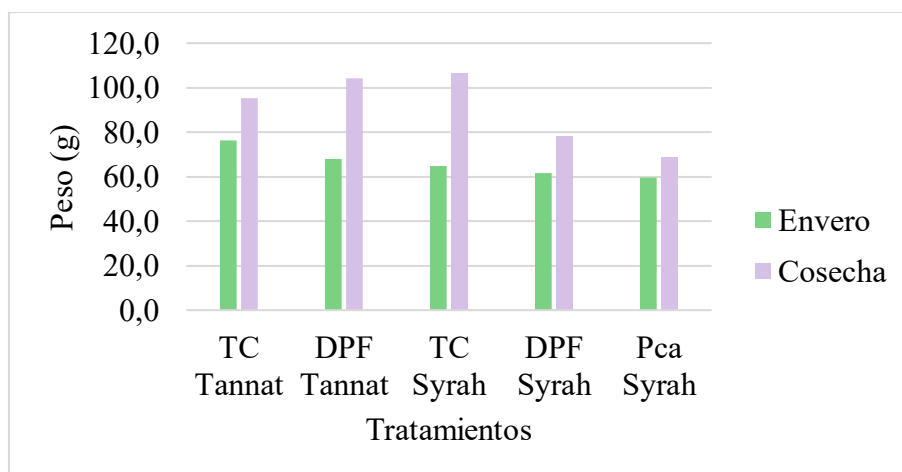
Se evidenció una clara evolución del peso de las bayas entre envero y cosecha para ambas variedades y en todos los tratamientos.

El peso promedio de las bayas de *Tannat* se incrementó de 76,2g en el envero a 95,4g en la cosecha bajo el TC. Cuando se realizó DPF, el peso evolucionó de 68,0g a 104,3g.

Para la variedad *Syrah*, el peso promedio de las bayas se modificó de 64,8g a 106,4g bajo el TC. El tratamiento DPF resultó en un cambio de 61,5g a 78,1 g. Finalmente, la aplicación de PCa mostró una evolución del peso de 59,5g a 68,6g entre el envero y la cosecha.

### Figura 16

*Evolución peso (g) de 50 bayas*



*Nota.* Los datos completos utilizados para la elaboración de esta figura se presentan en el **Anexo C (Tabla C2)**.

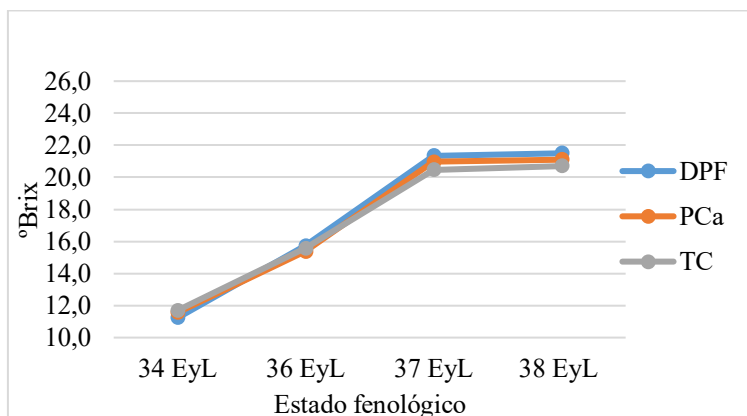
#### 4.4.3. Evolución de los Sólidos solubles

La evolución de los sólidos solubles presentó un incremento sostenido entre los estados fenológicos 34, 36 y 37 propuestos por Eichhorn & Lorenz (1977, como se cita en Coombe, 1995) y modificados por Coombe (1995), lo cual refleja la acumulación progresiva de azúcares asociada al proceso de maduración de las bayas. En la variedad *Syrah*, los valores se incrementaron desde 11,2–11,7 °Brix (34 E y L) hasta 20,7–21,5 °Brix (38 E y L), mostrando una evolución uniforme entre tratamientos y una maduración gradual. Por su parte, *Tannat* presentó valores superiores en todas las etapas, con un aumento de 14,1–14,3 °Brix (34 E y L) a 25,8-26,6 °Brix (37 E y L), indicando una mayor capacidad de acumulación de azúcares.

En *Tannat* y *Syrah*, las medias de sólidos solubles observadas en cosecha no presentaron diferencias significativas entre los tratamientos según el análisis realizado. Esto indica que los tratamientos no modificaron significativamente la concentración de sólidos solubles al momento de la cosecha.

**Figura 17**

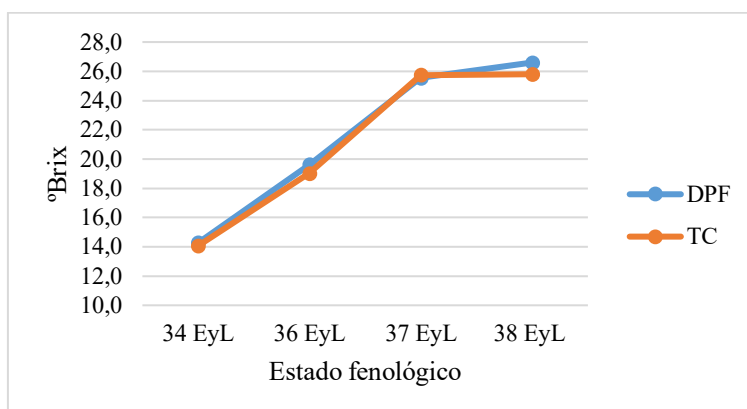
*Evolución Sólidos solubles Syrah*



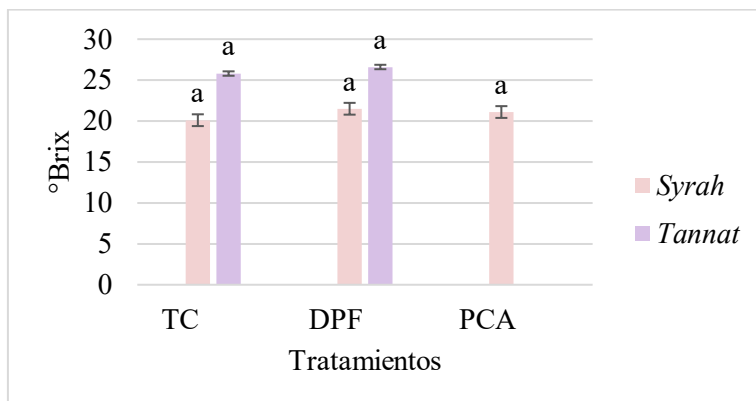
*Nota.* Los datos completos utilizados para la elaboración de esta figura se presentan en el **Anexo C (Tabla C3)**.

**Figura 18**

*Evolución Sólidos solubles Tannat*



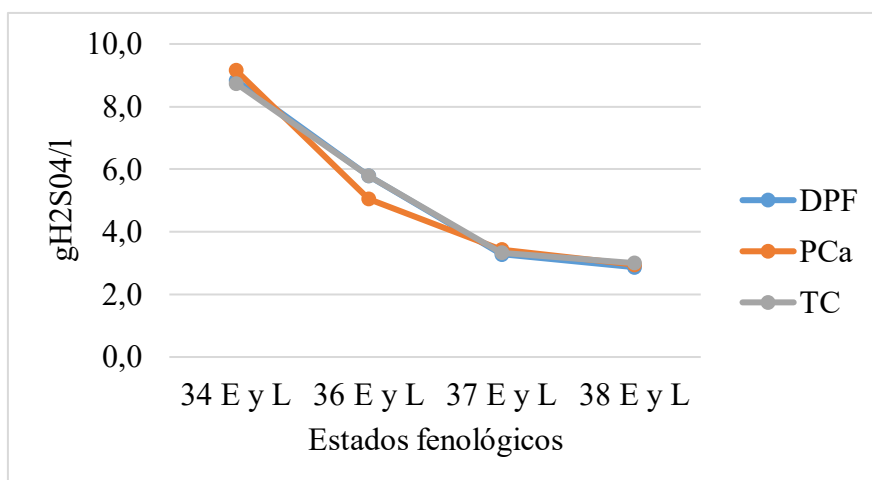
*Nota.* Los datos completos utilizados para la elaboración de esta figura se presentan en el **Anexo C (Tabla C3)**.

**Figura 19***Sólidos solubles a cosecha*

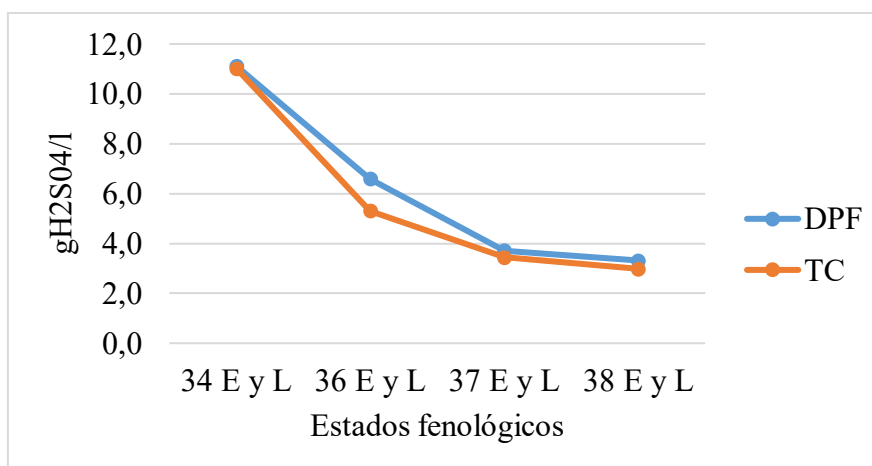
*Nota.* Medias con una letra común en una misma variedad no son significativamente diferentes (LSD Fisher  $\alpha=0,05$ ).

#### 4.4.4. Evolución de la Acidez total

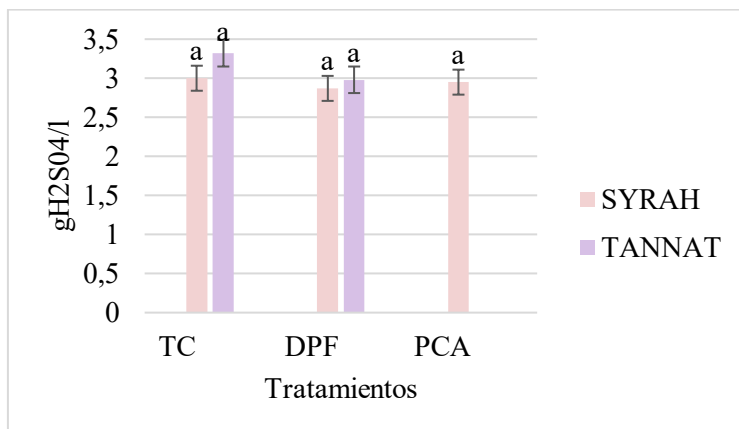
La evolución de la acidez total observada tanto en las uvas de *Syrah* como en las de *Tannat* descendió progresivamente a lo largo de los cuatro estados fenológicos evaluados (E y L 34, 36, 37 y 38), siguiendo la tendencia típica de la evolución ácido–metabólica durante la maduración del fruto. Independientemente del tratamiento aplicado, la acidez total en *Syrah* disminuyó desde valores iniciales cercanos a 9 g/L (34 E y L) hasta valores finales alrededor de 3 g/L en (38 E y L). En *Tannat* ambos tratamientos presentaron valores iniciales de acidez prácticamente equivalentes en torno a los 11 g/L (34 E y L) y cerca de la madurez tecnológica, se registraron valores de acidez en el entorno de 3 g/L (38 E y L). Si bien existieron diferencias numéricas entre tratamientos en la etapa intermedia (36 E y L) para ambas variedades, la evolución metabólica de la baya condujo a una uniformidad de la acidez total en los estados avanzados de maduración, sin evidenciar un impacto sostenido del deshoje prefloración ni de la aplicación de Prohexadione cálcico sobre el nivel final de acidez de las uvas que representara diferencias estadísticas evidentes en ningún tratamiento de las dos variedades.

**Figura 20***Evolución Acidez total de Syrah*

*Nota.* Los datos completos utilizados para la elaboración de esta figura se presentan en el **Anexo C (Tabla C4)**.

**Figura 21***Evolución Acidez total de Tannat*

*Nota.* Los datos completos utilizados para la elaboración de esta figura se presentan en el **Anexo C (Tabla C4)**.

**Figura 22***Acidez total a cosecha*

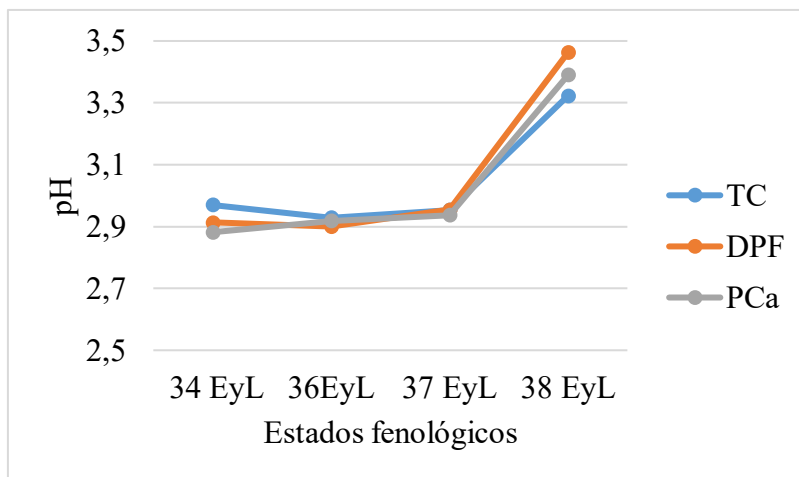
*Nota.* Medias con una letra común en una misma variedad no son significativamente diferentes (Tukey  $\alpha=0,05$ ).

#### 4.4.5. Evolución del pH

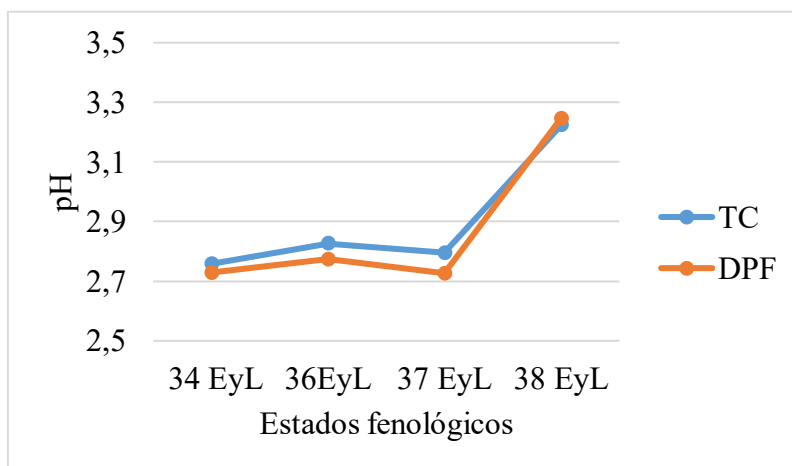
La evolución del pH de las bayas de ambas variedades, mostró una tendencia general al aumento desde el envero (34 E y L) hasta la madurez tecnológica (38 E y L).

En *Syrah*, el tratamiento DPF alcanzó el valor más alto de pH que fue 3,5 en el estado 38 E y L, seguido por la aplicación de PCa con 3,4 y el TC con 3,3. En las etapas intermedias, el pH en *Syrah* se mantuvo relativamente estable entre tratamientos, con valores cercanos a 2,9–3,0.

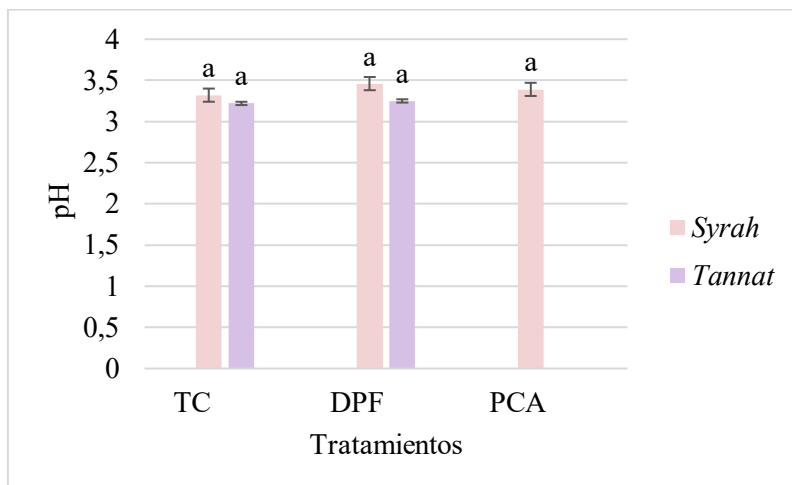
Para la variedad *Tannat*, los valores de pH fueron consistentemente más bajos que en *Syrah*, con un aumento desde aproximadamente 2,7–2,8 en etapas tempranas hasta 3,2 en madurez tecnológica (38 E y L), sin diferencias notables entre tratamientos.

**Figura 23***Evolución de pH en Syrah hasta cosecha*

*Nota.* Los datos completos utilizados para la elaboración de esta figura se presentan en el **Anexo C (Tabla C5)**.

**Figura 24***Evolución de pH en Tannat hasta cosecha*

*Nota.* Los datos completos utilizados para la elaboración de esta figura se presentan en el **Anexo C (Tabla C5)**.

**Figura 25***pH a cosecha*

*Nota.* Medias con una letra común en una misma variedad no son significativamente diferentes (Tukey  $\alpha=0,05$ ).

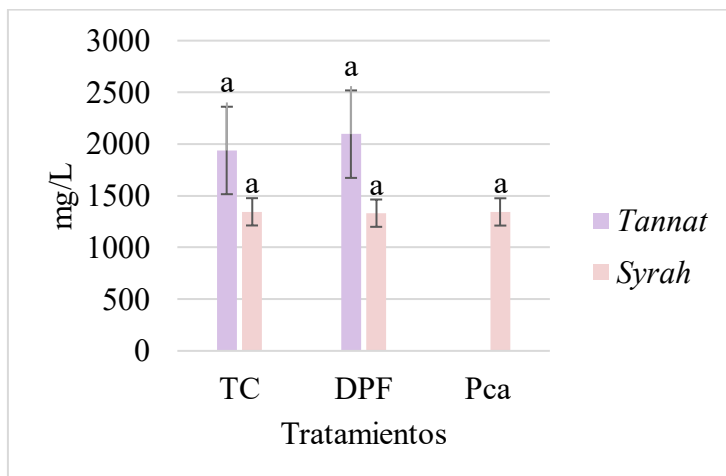
#### 4.4.6. Composición fenólica de la baya posterior a cosecha

La variedad *Tannat*, no mostró diferencias significativas de antocianos totales (ApH1) entre tratamientos. Sin embargo, con el tratamiento DPF se registró de forma significativa un mayor potencial de antocianos fácilmente extraíbles (ApH3,2) en cosecha, así como un mayor índice de polifenoles totales en comparación con el TC.

En *Syrah*, los valores de antocianos totales (ApH1) se mantuvieron similares entre tratamientos. El DPF y la aplicación de PCa presentaron incrementos moderados en la fracción de antocianos fácilmente extraíbles (ApH3,2), sin diferencias estadísticas respecto al TC. Mientras que el DPF y aplicación PCa presentaron incrementos significativos en el índice de polifenoles totales respecto al TC.

**Figura 26**

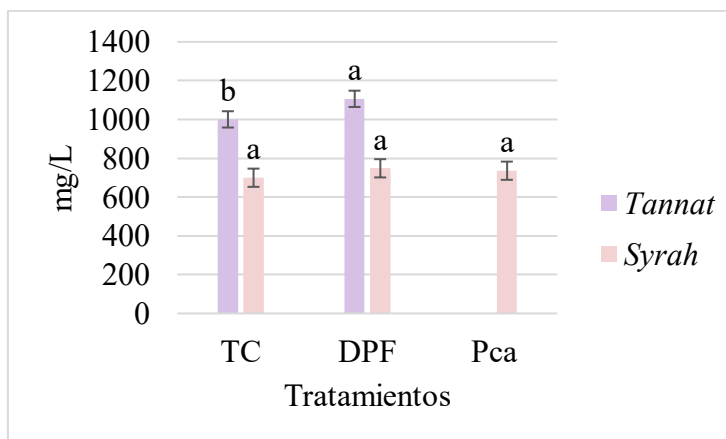
Potencial de antocianos (*ApH1*) en cosecha



*Nota.* Medias con una letra común en una misma variedad no son significativamente diferentes (Tukey  $\alpha=0,05$ ). Los datos completos utilizados para la elaboración de esta figura se presentan en el **Anexo C (Tabla C6)**.

**Figura 27**

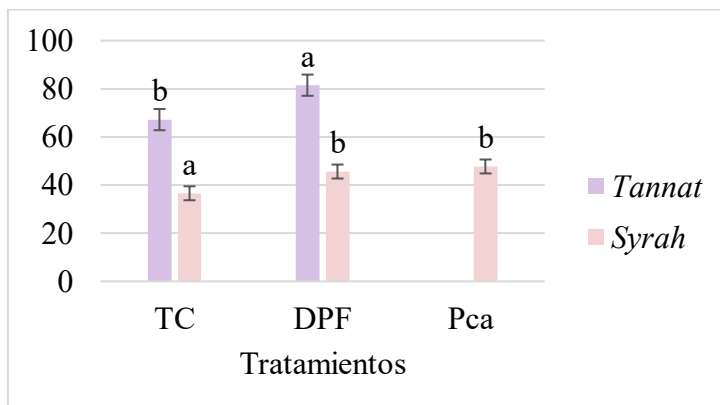
Potencial de antocianos fácilmente extraíbles (*ApH3,2*) en cosecha



*Nota.* Medias con una letra común en una misma variedad no son significativamente diferentes (Tukey  $\alpha=0,05$ ). Los datos completos utilizados para la elaboración de esta figura se presentan en el **Anexo C (Tabla C6)**.

**Figura 28**

*Índice de polifenoles totales (IPT) en cosecha*



*Nota.* Medias con una letra común en una misma variedad no son significativamente diferentes (Tukey  $\alpha=0,05$ ). Los datos completos utilizados para la elaboración de esta figura se presentan en el **Anexo C (Tabla C6)**.

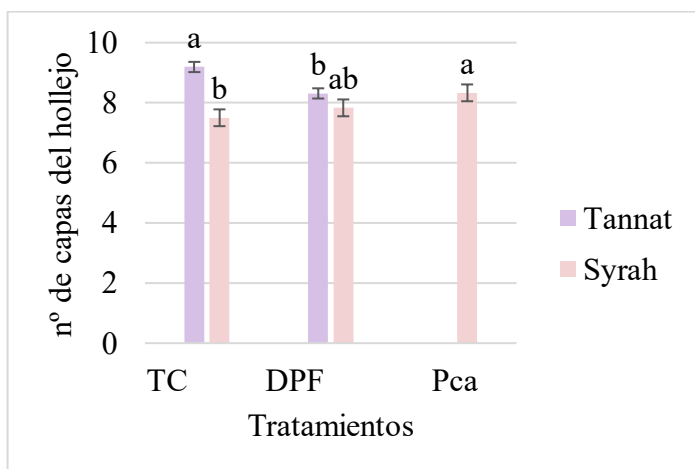
#### 4.5. EFECTO DE LOS TRATAMIENTOS EN LA COMPOSICIÓN HISTOLÓGICA DE LAS BAYAS

##### 4.5.1. Número de capas del hollejo

En la variedad *Tannat*, el TC presentó el mayor número de capas en el hollejo y se ubicó estadísticamente en un grupo distinto (a), mientras que el DPF integró una categoría separada con valores inferiores (b). En *Syrah*, el TC se clasificó dentro del grupo estadístico inferior (b), mientras que el DPF ocupó una posición intermedia (ab), compartiendo parcialmente agrupación con ambos extremos. La aplicación de Pca se ubicó en el grupo estadístico de mayor número de capas celulares dentro de esta variedad (a). En el análisis comparativo entre variedades, las bayas de *Tannat* mostraron un mayor número de capas del hollejo que las de *Syrah*, reflejando diferencias consistentes en los niveles registrados para los tratamientos equivalentes.

**Figura 29**

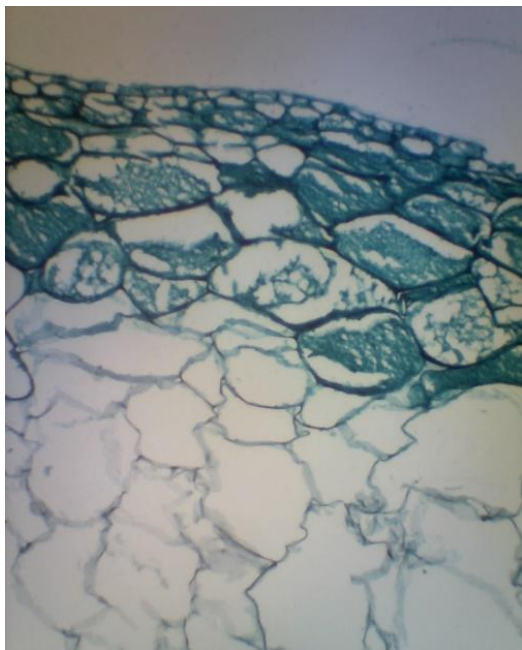
*Número medio de capas del hollejo*



*Nota.* Medias con una letra común en una misma variedad no son significativamente diferentes (LSD Fisher  $\alpha=0,05$ ). Los datos completos utilizados para la elaboración de esta figura se presentan en el **Anexo D (Tabla D1)**.

**Figura 30**

*Corte histológico de baya de Tannat. Planta n° 6, repetición 3 del tratamiento TC*



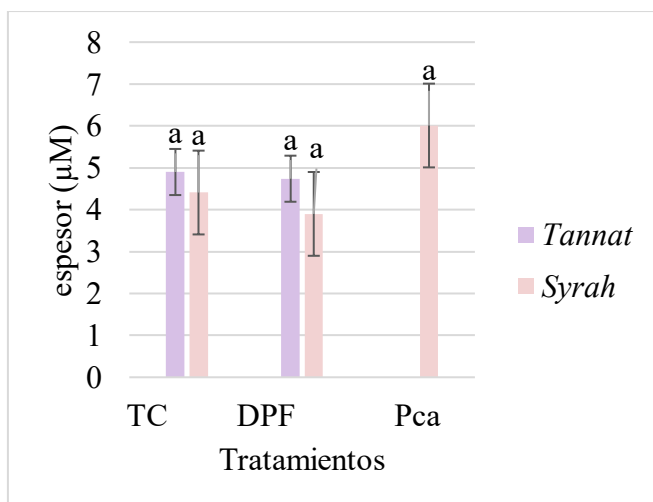
*Nota.* Figuras complementarias del análisis histológico se presentan en el **Anexo E (Figuras E1, E2, E3 y E4)**.

#### 4.5.2. Espesor de la cutícula

En *Tannat*, los tratamientos TC y DPF presentaron valores similares de espesor de cutícula ( $\mu\text{M}$ ), ambos ubicados dentro del mismo grupo estadístico. En la variedad *Syrah*, el mayor espesor correspondió a la aplicación de Pca, mientras que el DPF y el TC registraron valores inferiores, aunque todos los tratamientos se agruparon estadísticamente dentro de una misma categoría. Asimismo, al considerar ambas variedades, los valores correspondientes a cada tratamiento se mantuvieron dentro de un único grupo estadístico, indicando ausencia de diferencias significativas en el espesor de la cutícula entre las condiciones evaluadas.

**Figura 31**

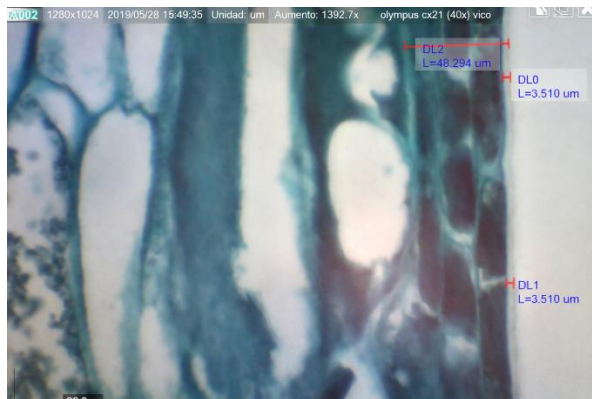
*Espesor medio de la cutícula*



*Nota.* Medias con una letra común en una misma variedad no son significativamente diferentes (LSD Fisher  $\alpha=0,05$ ). Los datos completos utilizados para la elaboración de esta figura se presentan en el **Anexo D (Tabla D2)**.

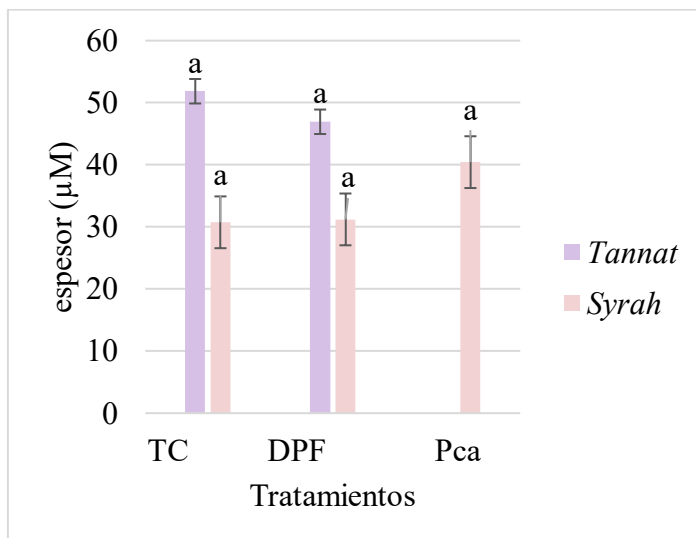
### Figura 32

*Corte histológico de baya de Tannat. Planta n° 3, repetición 3 del tratamiento TC*



#### 4.5.3. Espesor de la epidermis

El espesor de la epidermis se mantuvo uniforme dentro de cada variedad, no presentando diferencias estadísticas apreciables, independientemente del manejo aplicado. En *Tannat*, los dos tratamientos evaluados mostraron comportamientos equivalentes, aunque el TC mostró una tendencia a presentar mayor espesor de la epidermis. De manera similar, en *Syrah*, ninguno de los tres tratamientos produjo variaciones estadísticamente detectables, aunque fue la aplicación de PCa el tratamiento que mostró una tendencia consistente a presentar mayores valores de espesor epidérmico.

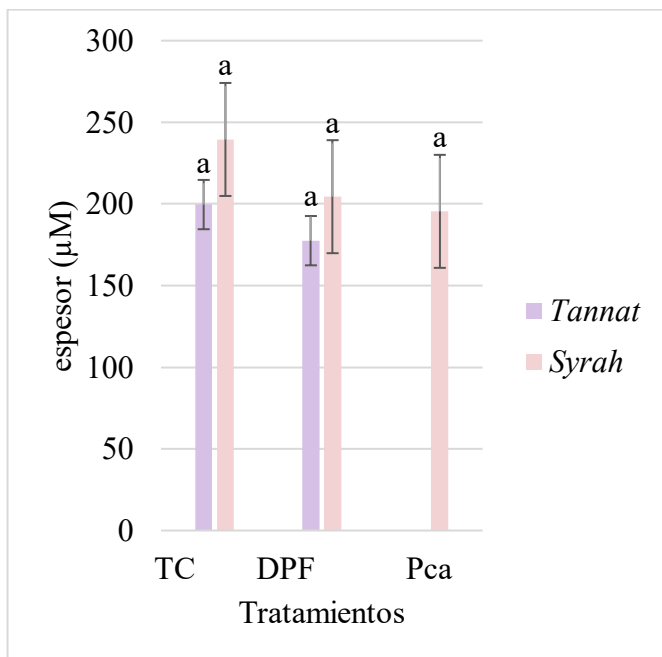
**Figura 33***Espesor medio de la epidermis*

*Nota.* Medias con una letra común en una misma variedad no son significativamente diferentes (LSD Fisher  $\alpha=0,05$ ). Los datos completos utilizados para la elaboración de esta figura se presentan en el **Anexo D (Tabla D3)**.

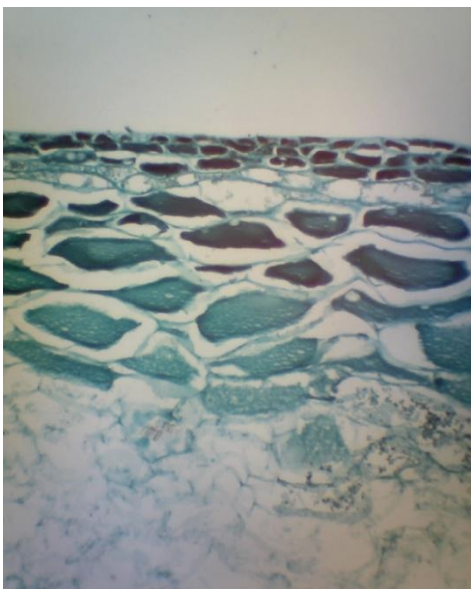
**Figura 34***Corte histológico de baya de Tannat. Planta n° 9, repetición 3 del tratamiento TC*

#### 4.5.4. Espesor de la hipodermis

El espesor de la hipodermis se mantuvo sin variaciones estadísticas detectables entre los tratamientos dentro de cada variedad. En *Tannat*, tanto el TC como el DPF presentaron valores comparables. De igual manera, en *Syrah*, los tres manejos evaluados mostraron espesores similares entre sí, sin registrarse diferencias estadísticas.

**Figura 35***Espesor medio de la hipodermis*

*Nota.* Medias con una letra común en una misma variedad no son significativamente diferentes (LSD Fisher  $\alpha=0,05$ ). Los datos completos utilizados para la elaboración de esta figura se presentan en el **Anexo D (Tabla D4)**.

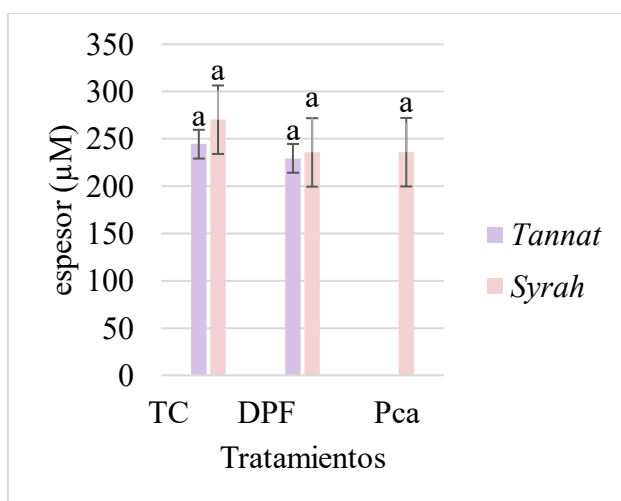
**Figura 36***Corte histológico de baya de Tannat. Planta n° 6, repetición 3 del tratamiento DPF*

#### 4.5.5. Espesor total de epicarpo

El espesor total del epicarpo no mostró diferencias estadísticas significativas entre los tratamientos dentro de cada variedad. En *Tannat*, los valores registrados para el TC y el DPF fueron similares. En tanto, en *Syrah*, el espesor total del epicarpo bajo los tres tratamientos evaluados se mantuvo comparable.

**Figura 37**

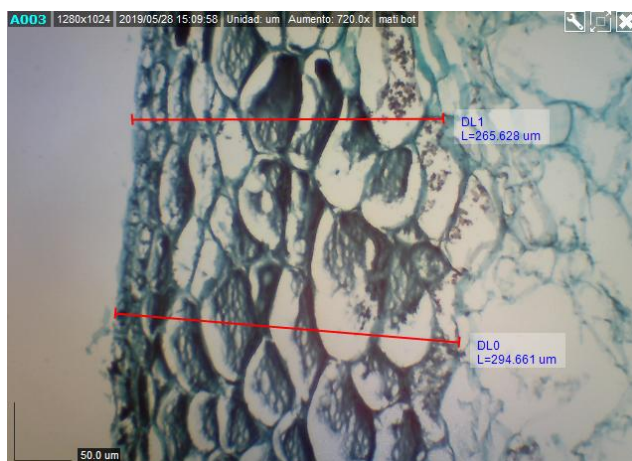
*Espesor medio del epicarpo*



*Nota.* Medias con una letra común en una misma variedad no son significativamente diferentes (LSD Fisher  $\alpha=0,05$ ). Los datos completos utilizados para la elaboración de esta figura se presentan en el **Anexo D (Tabla D5)**.

**Figura 38**

*Corte histológico de baya de Tannat. Planta n° 3, repetición 2 del tratamiento TC*



#### 4.6. SÍNTESIS DE LOS PRINCIPALES RESULTADOS

##### 4.6.1. Asociación de los resultados de las distintas variables en *Syrah*

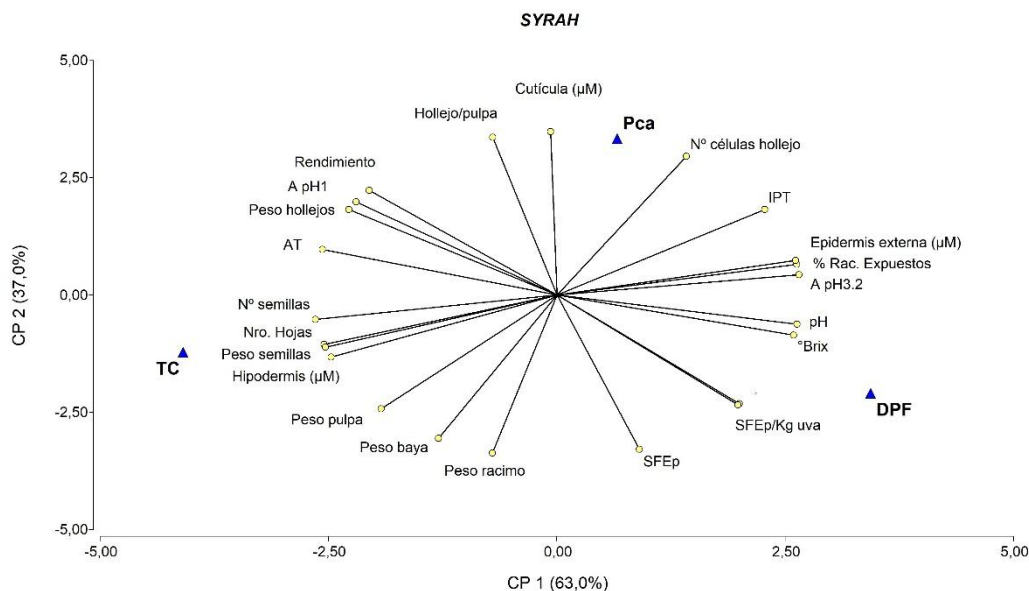
Al realizar un análisis multivariado se identificaron agrupamientos diferenciados entre los tratamientos TC, DPF y PCa, en función de su asociación con las variables evaluadas. El tratamiento TC se ubicó sobre el eje negativo del componente principal 1 (CP1), mostrando relación positiva con variables vinculadas al desarrollo vegetativo y a características internas del fruto, destacándose el número de hojas, el número y peso de semillas, el espesor de la hipodermis y el peso de pulpa. Paralelamente, TC presentó relaciones negativas con variables asociadas a la madurez del fruto, la exposición de racimos y la composición del hollejo, como pH, contenido de sólidos solubles, IPT, espesor de la epidermis y porcentaje de racimos expuestos.

El tratamiento PCa se posicionó en el cuadrante superior derecho del gráfico, asociándose de manera positiva con características relacionadas al desarrollo del hollejo y a la madurez tecnológica, tales como el espesor de la cutícula, número de capas del hollejo, espesor de la epidermis externa, IPT, pH, sólidos solubles y el porcentaje de racimos expuestos. En contraste, este tratamiento mostró asociaciones negativas con el número de capa de hojas, número y peso de semillas, espesor de la hipodermis, peso de pulpa, peso de baya y peso de racimo.

Por su parte, el tratamiento DPF se localizó en el sector inferior derecho del gráfico, mostrando relaciones positivas con parámetros de madurez como pH y sólidos solubles, SFep/kg de uva y porcentaje de racimos expuestos. Las asociaciones negativas se observaron con variables relacionadas al desarrollo vegetativo y a características internas del fruto, entre ellas el número de capas de hojas, número y peso de semillas, grosor de la hipodermis, peso de pulpa y hollejos, peso de baya y consecuentemente rendimiento.

**Figura 39**

*Análisis de componentes principales (ACP) de las principales variables de respuesta agronómica en Syrah*



#### 4.6.2. Asociación de los resultados de las distintas variables en *Tannat*

El análisis multivariado para la variedad *Tannat* evidenció diferencias claras en la respuesta de las variables según los tratamientos evaluados.

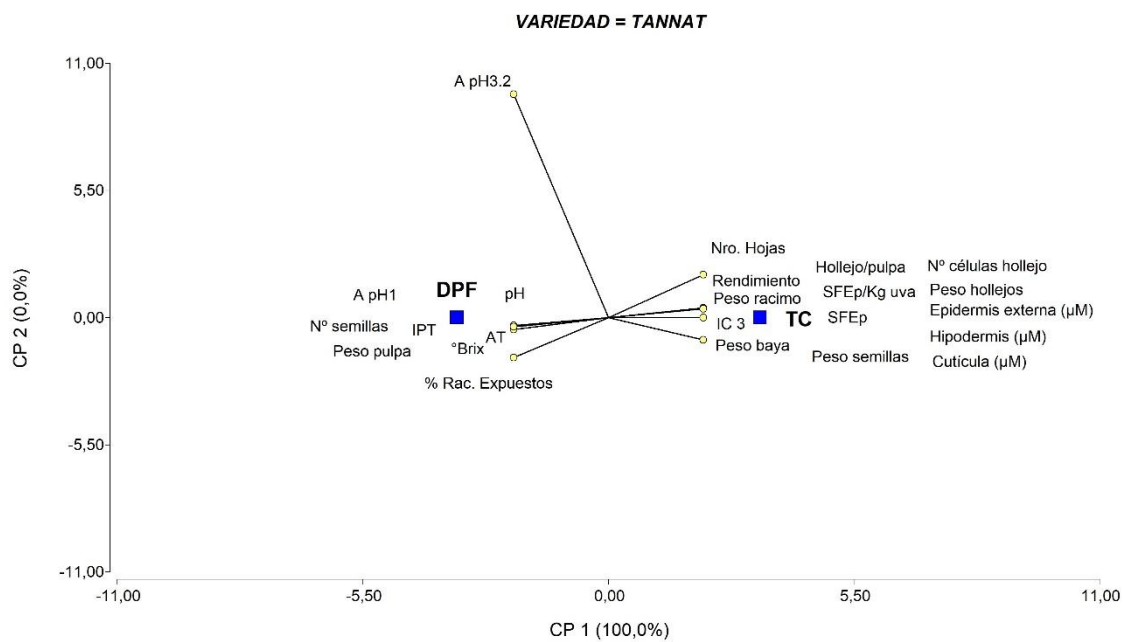
El tratamiento TC se ubicó asociado positivamente con variables relacionadas al desarrollo estructural y productivo, tales como número de capas del hollejo, grosor de epidermis, hipodermis y cutícula, peso de hollejos, peso de racimos, peso de bayas, número de capas de hojas, y superficie foliar expuesta potencial (SFEp y SFEp/kg de uva). Además, mostró correlaciones positivas con la proporción hollejo/pulpa. En contraste, el TC presentó asociaciones negativas con variables de madurez y microclima del racimo, tales como porcentaje de racimos expuestos, sólidos solubles, pH, acidez total (AT), antocianos fácilmente extraíbles e IPT.

Por otro lado, el tratamiento DPF se ubicó asociado positivamente con variables relacionadas a la madurez y calidad del fruto, incluyendo porcentaje de racimos expuestos, número de semillas, peso de pulpa, sólidos solubles, pH, AT, antocianos fácilmente extraíbles e IPT. Simultáneamente, el DPF mostró asociaciones negativas con variables vinculadas al desarrollo vegetativo y estructural, como superficie foliar

expuesta potencial (SFEp), número de capas de hojas, peso de racimos, peso de bayas, número y peso de células del hollejo, grosor de cutícula, epidermis e hipodermis.

### Figura 40

*Análisis de componentes principales (ACP) de las principales variables de respuesta agronómica en Tannat*



## 5. DISCUSIÓN

### 5.1. CARACTERIZACIÓN CLIMÁTICA DEL AÑO

#### 5.1.1. Precipitaciones y evapotranspiración potencial

Al inicio del desarrollo vegetativo, el balance hídrico se mantuvo positivo. Sin embargo, desde la floración (cerca del 01/11/2017 en E y L 23) hasta el cierre de racimos (alrededor del 01/01/2018 en E y L 33) se volvió negativo, aunque de forma moderada. Esto sugiere que durante la brotación y las primeras fases vegetativas el cultivo aprovechó las reservas de agua acumuladas en el suelo durante el invierno. Por ello, y dado que la demanda hídrica era aún baja, no se produjo déficit hídrico (al menos severo). A partir de cierre de racimo, el déficit hídrico comenzó a acentuarse hasta la cosecha. Dicho estrés hídrico pudo haber comprometido tanto el crecimiento vegetativo como el reproductivo, por la caída de la conductancia hidráulica que restringió el transporte de agua y la absorción de nutrientes esenciales Chaves et al. (2010). Bajo condiciones de sequía severa, esta restricción pudo haber alterado la relación  $K/H^+$  en los tejidos de la baya (Porro et al., 2008), generando desviaciones en los valores de pH respecto a los esperados durante la maduración (hecho que se confirmó durante los análisis de rutina en el laboratorio de la bodega).

#### 5.1.2. Temperatura durante el desarrollo vegetativo

El progresivo aumento de la temperatura desde floración hasta envero permitió el avance fenológico, evidenciando que hubo una respuesta a la acumulación térmica tal como indicaron Winkler et al. (1974) que el desarrollo fenológico de la vid progresa en función de la acumulación de unidades de calor. El hecho de que la temperatura media de envero haya estado en torno a los 24 °C (temperatura moderadamente cálida) indica que hubo condiciones térmicas propicias para la síntesis y acumulación de azúcares y otros componentes de calidad en cultivares tintos (Rienth et al., 2016). Además, cuando dichas condiciones se combinan con factores de estrés como el déficit hídrico, pueden influir adicionalmente en la concentración de compuestos fenólicos y la dinámica de maduración (Fourment & Piccardo, 2023). Por otro lado, la ligera disminución térmica hacia la cosecha sugiere un período más templado que podría haber favorecido la conservación de acidez y contribuido a un mejor equilibrio de maduración, en concordancia con lo observado por Jackson y Lombard (1993), quienes destacan que temperaturas moderadas (por debajo de 23–24 °C) durante las etapas finales del ciclo permiten preservar la acidez

y mejorar la calidad organoléptica del fruto, evitando la degradación acelerada del ácido málico y un desequilibrio azúcar/ácido asociado a condiciones térmicas más elevadas.

## 5.2. EFECTO DE LOS TRATAMIENTOS SOBRE PARÁMETROS VEGETATIVOS Y SOBRE LA SANIDAD DEL RACIMO

### 5.2.1. Superficie foliar expuesta potencial

Teniendo en cuenta que la SFEP óptima suele estar entre 5000–7000 m<sup>2</sup>/ha para viñedos equilibrados y productivos (Smart, 1973) y que valores menores a 3500 m<sup>2</sup>/ha suelen indicar baja capacidad fotosintética o bajo vigor del viñedo, con potencial impacto negativo en el rendimiento y maduración:

- En *Syrah* los valores de SFEP fueron de entre 4223–5067 m<sup>2</sup>/ha, situándose dentro del rango considerado fisiológicamente óptimo para el mantenimiento de una canopia funcional. Cabe destacar que el cultivo de esta variedad fue sometido a un raleo posterior al cierre de racimos, lo cual sugiere que la SFEP podría haber alcanzado valores aún superiores en ausencia de dicha práctica.
- En *Tannat* los valores de SFEP fueron sustancialmente menores (2615–3183 m<sup>2</sup>/ha), indicando un déficit vegetativo marcado. Estos valores, reflejan no solo diferencias varietales con respecto a *Syrah*, sino secuelas directas del estrés producidas por el paso de un tornado sobre el cultivo en el anterior ciclo productivo (2016-2017). Por tanto, al momento del ensayo la variedad *Tannat* se encontraba en un proceso de recuperación fisiológica, con una canopia reducida y posiblemente desequilibrada.

### 5.2.2. Número de capas de hojas

Los valores obtenidos para todos los tratamientos de ambas variedades (< 2) se situaron en el rango óptimo reportado por Smart (1985) y Hunter et al. (1995), que consideran al follaje “moderadamente abierto” y favorable para que la fotosíntesis ocurra de forma eficiente, con una buena penetración de luz en la zona de los racimos y sin sombreado excesivo. Estos resultados coinciden con estudios previos realizados en Uruguay sobre la variedad *Tannat* (Arrillaga López, 2017, 2021; Izquierdo Pacheco, 2019).

### 5.2.3. Proporción de racimos expuestos

El hecho de que no haya habido diferencias estadísticas evidentes no quita que la tendencia fisiológica fuese clara, ya que la diferencia entre los valores absolutos fue sustancial. En este sentido, los resultados muestran que el DPF incrementó claramente la exposición de los racimos tanto en *Tannat* como en *Syrah*, coincidiendo con lo reportado por diversos autores (Arrillaga et al., 2021; Poni et al., 2006; Tardáguila et al., 2010) quienes demostraron que el deshoje temprano reduce la densidad foliar alrededor del racimo, mejora la aireación y aumenta la exposición a la radiación solar durante el desarrollo inicial del fruto.

En cuanto a la relación entre el número de capas de hojas y el porcentaje de racimos expuestos, los valores observados siguen la relación inversa descrita por Smart y Robinson (1991). A medida que disminuye el número de capas de hojas, aumenta el porcentaje de racimos expuestos. Para ambas variedades, los testigos presentaron mayor número de capas de hojas y tuvieron menor porcentaje de racimos expuestos. Al contrario, los tratamientos con menor número de capas de hojas, mostraron mayor porcentaje de racimos expuestos. Esta correlación confirma que los tratamientos lograron modificar de forma efectiva la arquitectura de la canopia, favoreciendo un microclima de racimos más luminoso y aireado.

Si bien los racimos del tratamiento DPF tendieron a quedar más expuestos en ambas variedades, sin registrarse diferencias estadísticas, no se observaron síntomas de quemado de sol en dichos racimos. Este comportamiento es consistente con antecedentes que indican que la susceptibilidad al daño por sol y calor en bayas de *Vitis vinifera* L. depende tanto del estadio fenológico como de la historia previa de exposición lumínica, y que exposiciones graduales desde etapas tempranas del desarrollo inducen mecanismos de aclimatación (incluyendo la síntesis de compuestos fotoprotectores, el fortalecimiento de la cutícula y ajustes en el microclima del racimo) que atenúan los efectos negativos de la radiación y la temperatura, reduciendo el riesgo de *sunburn* fisiológico frente a exposiciones repentinas en fases más avanzadas como envero o madurez (Bonini et al., 2025; Dokoozlian & Kliewer, 1996).

#### 5.2.4. Incidencia de podredumbre de racimos

La ausencia total de *Botrytis cinerea* en ambas variedades y bajo todos los tratamientos puede atribuirse principalmente a las condiciones ambientales del ciclo, que fueron marcadamente desfavorables para el desarrollo del patógeno. Si bien a finales del invierno se registraron precipitaciones abundantes, estas ocurrieron antes del desarrollo reproductivo, cuando los racimos aún no presentaban tejidos susceptibles. Desde floración hasta cosecha predominó un balance hídrico negativo y acentuado, condiciones que redujeron drásticamente la viabilidad del inóculo y la capacidad de infección, dado que *Botrytis cinerea* depende de humedad libre para germinar y colonizar los tejidos del huésped tal como expresan Elmer y Michailides (2007).

Las elevadas temperaturas registradas en enero y febrero, tampoco favorecieron el establecimiento del patógeno, ya que la enfermedad se expresa con mayor intensidad en ambientes húmedos con temperaturas moderadas (Thomas et al., 1988). Este comportamiento coincide con un estudio desarrollado en Uruguay, donde se demostró que la incidencia de Podredumbre gris disminuye durante temporadas secas, independientemente de la variedad y de las prácticas de manejo de la canopia (González-Neves et al., 2010).

Asimismo, el efecto de prácticas como el deshoje prefloración o la aplicación de reguladores de crecimiento suele ser secundario frente a condiciones climáticas restrictivas. En años secos, estas prácticas tienen una influencia sobre la sanidad del racimo mínima, ya que el microclima de la canopia no constituye un factor limitante (Poni et al., 2006). Esto sugiere que fue el ambiente el que actuó como el principal factor regulador de la enfermedad.

### 5.3. IMPACTO DE LOS TRATAMIENTOS EN PARÁMETROS VINCULADOS AL RENDIMIENTO PRODUCTIVO

#### 5.3.1. Número de racimos por planta, peso promedio de racimo y rendimiento promedio

Los tratamientos aplicados no modificaron significativamente el número de racimos por planta, peso promedio de racimo y rendimiento promedio por planta. Sin embargo, se observaron tendencias fisiológicamente coherentes. En *Syrah* ocurrió una leve reducción en el peso de racimo cuando se aplicó PCa, coincidiendo con lo reportado por Vaquero-Fernández et al. (2009) y explicado por el efecto regulador del crecimiento

que posee el PCa (Evans et al., 1999). En *Tannat*, tal como señalan Arrillaga et al. (2021), el deshoje en prefloración marcó una tendencia en la disminución del peso de racimo, efecto que concuerda con lo planteado por Poni et al. (2006, 2008), quienes atribuyen estas disminuciones a limitaciones en la disponibilidad de fotoasimilados durante las primeras etapas del desarrollo del racimo.

*Syrah* ha sido ampliamente caracterizada en la literatura como una variedad con elevada capacidad productiva en comparación con otros cultivares tintos, lo cual coincide con las diferencias detectadas en el número de racimos y en el rendimiento por planta registrados en este trabajo, cuando se compara con los rendimientos obtenidos en *Tannat*. Sin embargo, es importante señalar que, aunque algunos clones de *Tannat* pueden alcanzar un potencial productivo superior al de *Syrah* bajo condiciones favorables (Disegna et al., 2017), los datos obtenidos en este estudio se ven afectados por el daño significativo que sufrió la parcela de *Tannat* debido al paso de un tornado la temporada anterior, lo que impactó negativamente en su vigor y rendimiento. Independientemente de este evento meteorológico, los atributos reproductivos, el número potencial de inflorescencias y la eficiencia de cuajado responden fuertemente a factores genéticos propios de cada cultivar (Jackson, 2020; Keller, 2015). Además, tal como plantea Echeverría et al. (2017), el balance fisiológico fuente-fosa es un factor crítico para explicar la variabilidad en rendimiento y puede ayudar a entender las diferencias varietales observadas. Tecchio et al. (2022) destacan también la influencia del manejo, el estrés hídrico y el estado sanitario del viñedo en la expresión del potencial productivo, lo que sugiere que las condiciones particulares del viñedo y la historia agronómica, incluyendo el daño sufrido por *Tannat*, fueron determinantes del rendimiento final en cada cultivar.

Asimismo, la productividad observada en *Tannat* debe interpretarse considerando la ocurrencia de un evento meteorológico extremo que afectó la parcela en la temporada anterior. Fenómenos severos como tormentas violentas, vientos intensos o daños estructurales significativos pueden generar alteraciones fisiológicas que se extienden más allá del ciclo inmediato, afectando la capacidad fotosintética, el equilibrio fuente-fosa y, en consecuencia, la productividad durante la temporada subsiguiente (Keller, 2015; Schultz & Jones, 2010). En este sentido, la reducción del rendimiento en *Tannat* es coherente con los efectos esperables tras un disturbio meteorológico de alta magnitud,

sumado a las diferencias genéticas varietales previamente mencionadas, lo cual también está en línea con lo planteado por Echeverría et al. (2017) respecto a la interacción entre factores climáticos, edáficos y fisiológicos en la expresión de las características productivas y enológicas que determinan el terroir.

### 5.3.2. Peso de la baya al momento de cosecha

La reducción en el peso de las bayas en cosecha en la variedad *Syrah* pudo haber tenido implicaciones directas sobre el rendimiento total del viñedo, dado que el peso de las bayas es uno de los principales componentes del rendimiento junto con el número de racimos por planta. Como mencionaron Smart y Robinson (1991) y Hunter et al. (1995), la disminución del peso de las bayas suele asociarse a limitaciones en la disponibilidad de asimilados hacia los racimos, ya sea por prácticas de manejo de la canopia que modifican la relación fuente-fosa o por el uso de reguladores de crecimiento que alteran la expansión celular.

- En referencia al tratamiento PCa, los resultados podrían asociarse con el trabajo de Rademacher (2000), donde concluyen que el Prohexadione cálcico al inhibir la biosíntesis de giberelinas restringe el alargamiento y división celular, generando bayas de menor tamaño y, por ende, una reducción potencial del rendimiento total. Además, los resultados coinciden con los trabajos de Vaquero-Fernandez et al. (2009) y Arrillaga López (2017), en los que demostraron que la aplicación de Prohexadione cálcico en prefloración provocó una reducción en el tamaño de las bayas.
- En cuanto al deshoje en prefloración, el peso de baya no difirió significativamente respecto al testigo, pero se observó una tendencia a la reducción. Si bien existen estudios que indican que el DPF tiende a disminuir la disponibilidad de carbohidratos en las etapas iniciales de cuajado, reduciendo el número de capas celulares por baya y, en consecuencia, el tamaño y peso final de la baya (Pastore et al., 2013; Poni et al., 2006; VanderWeide et al., 2021), hay evidencia de que la respuesta puede no tener un efecto consistente sobre el peso de las bayas porque es altamente dependiente del cultivar, la severidad del deshoje, las condiciones climáticas y la dinámica fuente-fosa durante el cuajado (Arrillaga et al., 2021; Intrieri et al., 2008). Sin embargo, la menor densidad de follaje generada por el deshoje podría haber mejorado la intercepción lumínica y

la aireación, favoreciendo la madurez y calidad de los racimos, sin un impacto negativo marcado sobre el rendimiento total (Diago, 2010).

En la variedad *Tannat*, como mencionan Poni et al. (2006) y Hunter et al. (1995), el deshoje prefloración podría haber afectado el equilibrio fuente-fosa de la planta al reducir temporalmente la superficie fotosintética disponible antes del cuajado. Por lo tanto, la remoción de hojas en ese momento puede haber limitado el suministro de asimilados hacia los ovarios fecundados, afectando tanto el número de capas celulares como la capacidad de expansión posterior de la baya. La reducción del peso de baya observada en este estudio (-9,5% respecto al testigo) es coherente con lo reportado por Poni et al. (2006), quienes documentaron disminuciones de entre 8 y 15% en el peso de baya en *Sangiovese* y *Barbera* tras el deshoje en prefloración. Por el contrario, estudios posteriores realizados en Uruguay (Arrillaga López, 2017, 2021; Izquierdo Pacheco, 2019), muestran promedios de peso de baya superiores (aunque sin diferencias significativas) con plantas sometidas a deshoje prefloración. Las tendencias contradictorias en el tamaño de baya, podrían estar explicadas por el nivel de reservas de la planta, al momento de aplicar el DPF. Dado que el deshoje temprano genera un estrés por C, la planta se reequilibra eliminando flores, abortando pequeños frutos y eventualmente limitando el crecimiento de los frutos cuajados. Sin embargo, cuando se aplica a plantas vigorosas y con un buen nivel de reservas al inicio de primavera, tal como se realizó en los trabajos de Arrillaga López (2017, 2021) e Izquierdo Pacheco (2019), la tendencia es a compensar el menor cuajado, con un mayor tamaño de baya.

Si bien el peso individual de baya disminuyó, el deshoje temprano también mejoraría la exposición lumínica del follaje y la ventilación del racimo, favoreciendo la síntesis de antocianos y compuestos fenólicos, pudiendo incluso haber influido positivamente en el crecimiento del epicarpo (Poni et al., 2006), como en una eventual menor incidencia de *Botrytis cinerea* (VanderWeide et al., 2021). En este sentido, el tratamiento podría contribuir positivamente a la calidad enológica de las uvas, a costa de una ligera reducción en el rendimiento total.

Desde un punto de vista productivo, la reducción del peso de baya observada en *Tannat* podría haber implicado una leve merma en el rendimiento por hectárea, especialmente si no se compensó mediante un aumento del número de racimos o bayas por racimo. No obstante, estudios previos sugieren que, en variedades tintas destinadas a

la elaboración de vinos de alta gama, una moderada limitación del crecimiento del fruto puede resultar deseable por su efecto sobre la concentración de sólidos solubles, polifenoles y color (Poni et al., 2006; Smart & Robinson, 1991). En consecuencia, aunque el deshoje en prefloración redujo significativamente el peso de baya, el impacto global sobre el rendimiento debe interpretarse en función del objetivo productivo del viñedo: una ligera pérdida de peso puede ser compensada por una mejora sustancial en la calidad del mosto y del vino obtenido.

#### 5.4. RESPUESTA FISIOLÓGICA Y COMPOSICIÓN DE LA BAYA FRENTE A LOS TRATAMIENTOS APLICADOS

##### 5.4.1. Compacidad de racimos

La ausencia de diferencias significativas entre tratamientos sugiere que ni el deshoje temprano ni la aplicación de Prohexadione cálcico afectaron de manera relevante el número final de bayas ni el grado de llenado del racimo. Sin embargo, tal como reportaron Poni et al. (2006) el ligero descenso de la compacidad bajo deshoje prefloración en *Tannat* podría relacionarse con una menor fecundación y cuajado debido a la reducción temporal de la superficie foliar y, por lo tanto, del aporte de carbohidratos en fases tempranas. Esta leve disminución de compacidad puede considerarse beneficiosa, ya que esta variedad suele presentar racimos naturalmente compactos, propensos a enfermedades fúngicas y al mejorar la aireación y la exposición de los racimos, se reduciría el riesgo de pudriciones como reportaron Smart y Robinson (1991). Por tanto, aunque las diferencias no fueron estadísticamente significativas, la tendencia observada indica un posible efecto cualitativo favorable del deshoje temprano.

En contraste, el Prohexadione cálcico aplicado en *Syrah* no parece haber afectado el desarrollo de los racimos, probablemente porque la dosis y el momento de aplicación no fueron ajustados de la mejor manera para modificar significativamente la arquitectura reproductiva de la planta.

##### 5.4.2. Evolución del peso de baya

Las diferencias observadas en la evolución del peso de las bayas entre *Tannat* y *Syrah* coinciden con la sensibilidad varietal documentada frente a modificaciones del balance fuente–fosa. Tal como indican Poni et al. (2006) e Intrieri et al. (2008), el DPF pudo haber reducido la disponibilidad temprana de carbohidratos y limitar la división

celular en las bayas, afectando el potencial de crecimiento posterior. Sin embargo, para Keller (2015), la magnitud de este efecto depende fuertemente de la capacidad de compensación vegetativa de cada variedad. En este sentido, la evolución del peso de baya en *Tannat* sugiere que ciertas variedades vigorosas pueden tolerar deshojados previos a la floración sin comprometer el crecimiento en la fase envero–cosecha, porque la defoliación basal puede incrementar la fotosíntesis por hoja y mantener el peso de la baya sin cambios significativos respecto al control (Cataldo et al., 2021).

Por el contrario, *Syrah* se comportó como una variedad más sensible a reducciones tempranas del suministro de fotoasimilados, presentando una evolución del peso más restringida bajo DPF. Esta respuesta ha sido descrita previamente en cultivares con menor capacidad de compensación foliar, donde la reducción temprana de hojas limita el potencial de expansión celular en etapas posteriores (Nicolosi et al., 2012; Poni et al., 2006). Asimismo, la acción del PCA, que inhibe la biosíntesis de giberelinas y reduce la expansión celular (Evans et al., 1999; Rademacher, 2000), explicaría la disminución adicional en el crecimiento de las bayas de *Syrah* bajo este tratamiento, coherente con su mayor sensibilidad fisiológica.

Por lo tanto, los resultados confirman que las diferencias en la evolución del peso responden tanto a los efectos fisiológicos de los tratamientos como a la naturaleza varietal específica de cada variedad.

#### 5.4.3. Evolución de los Sólidos solubles

La evolución de los sólidos solubles para ambas variedades fue consistente con lo descrito por Coombe (1992), quien reportó un incremento sostenido de estos valores desde envero hasta la cosecha, vinculado tanto a la acumulación de hexosas en el mesocarpo como a la deshidratación relativa de las bayas. En ambas variedades se observó el patrón característico de aumento progresivo de °Brix a lo largo del ciclo fenológico, reflejando un desarrollo fisiológico adecuado y condiciones propicias para la maduración tecnológica del fruto al igual de lo mencionado por Winkler et al. (1974).

Los resultados obtenidos al momento de cosecha muestran que, para ambas variedades en las condiciones evaluadas, los tratamientos no impactaron significativamente en la acumulación final de sólidos solubles en la baya, comparado con el testigo. Por tanto, en relación al DPF se podría considerar que no se alteró la madurez

tecnológica del fruto en términos de concentración de azúcares porque si bien el deshoje puede afectar otros parámetros como la concentración de compuestos fenólicos, no siempre resulta en un aumento significativo de los sólidos solubles totales (Poni et al., 2006). En relación a la aplicación de Prohexadione cálcico Vaquero-Fernández et al. (2009), apoyan la idea de que su efecto puede depender fuertemente de la interacción entre el tratamiento y las condiciones climáticas específicas de la temporada, pudiendo ser esta una explicación de que el PCa no haya influido significativamente en el contenido final de sólidos solubles de las bayas.

#### 5.4.4. Evolución de la Acidez total

La acidez total en *Syrah* y *Tannat* disminuyó progresivamente entre envero (34 E y L) y madurez tecnológica (38 E y L), patrón típico de maduración asociado a la degradación del ácido málico y a la dilución causada por el crecimiento de la baya (Jackson, 2020; Keller, 2015). Aunque los tratamientos generaron diferencias iniciales, la convergencia en etapas avanzadas indica que los procesos fisiológicos de maduración predominaron sobre las prácticas de manejo.

En *Syrah*, tanto el deshoje precoz como la aplicación de Prohexadione cálcico sólo produjeron variaciones leves y transitorias, sin modificar la acidez final, lo que coincide con trabajos que muestran que estos manejos afectan principalmente el vigor o la exposición del racimo y no la dinámica de los ácidos orgánicos (Pastore et al., 2013; Rademacher, 2000). En *Tannat* se observó una tendencia similar, en la que el deshoje temprano generó diferencias moderadas en etapas intermedias que desaparecieron hacia cosecha, alineado con estudios que describen la capacidad de la maduración avanzada para homogeneizar la composición de la baya pese a manejos contrastantes (Risco et al., 2014).

En conjunto, la estabilidad final de la acidez sugiere que los tratamientos indujeron efectos sólo marginales, ya que la estructura ácida del fruto depende principalmente de factores fisiológicos y ambientales, y en segundo término del manejo de la canopia (Chaves et al., 2010).

#### 5.4.5. Evolución del pH

La evolución del pH observada en ambas variedades refleja un patrón típico del desarrollo de la baya, en el cual la acidez disminuye progresivamente a medida que

avanza la maduración, elevando el pH en etapas cercanas a la cosecha (Kliewer & Dokoozlian, 2005). Sin embargo, la magnitud de estos cambios varía según la variedad y el tratamiento aplicado.

En *Syrah*, el DPF generó el pH final más alto, lo que sugiere un posible adelanto o aceleración de los procesos madurativos. Este comportamiento coincide con reportes de Poni et al. (2006), quienes indicaron que la eliminación temprana de hojas aumenta la exposición del racimo y puede intensificar la degradación de ácidos orgánicos durante la madurez. La mayor exposición lumínica también ha sido asociada con una aceleración en la respiración del ácido málico, contribuyendo a valores de pH más elevados (Dokoozlian & Kliewer, 1996). La aplicación de Prohexadione cálcico (PCa), por su parte, mostró un aumento más moderado del pH en etapas tempranas, lo cual es consistente con su acción inhibitoria de las giberelinas, capaz de ralentizar ciertos procesos de desarrollo y maduración del fruto (Rademacher, 2016).

En *Tannat*, las diferencias entre tratamientos fueron mínimas, lo que sugiere una respuesta varietal poco sensible frente a la remoción temprana de hojas en la zona del racimo. González-Neves et al. (2004) indican que *Tannat* mantiene niveles más altos de acidez y un pH más estable a lo largo del ciclo de maduración en comparación con otras variedades tintas, debido a su metabolismo característico de ácidos orgánicos. Esto podría explicar el comportamiento más uniforme entre tratamientos y la menor variación del pH respecto a *Syrah*.

#### 5.4.6. Composición fenólica de la baya posterior a cosecha

Las diferencias observadas en la composición fenólica entre variedades y tratamientos reflejan la interacción entre los factores genéticos y las prácticas de manejo del viñedo. La mayor concentración de antocianos y polifenoles registrada en *Tannat* es consistente con González-Neves et al. (2004), quienes documentaron que esta variedad presenta una de las estructuras fenólicas más intensas dentro de las cultivadas en Uruguay, con altos niveles de antocianinas monoméricas, taninos extractables y una notable estabilidad colorante. Este estudio resalta que la composición fenólica de *Tannat* responde de forma marcada a los factores ambientales y de manejo, con incrementos significativos bajo condiciones que mejoran la exposición lumínica del racimo.

El aumento en antocianos totales, antocianos fácilmente extraíbles e IPT en *Tannat* cuando se realizó el deshoje prefloración coincide con los resultados de Poni et al. (2006) y Pastore et al. (2013), quienes señalan que la reducción foliar temprana incrementa la exposición del racimo y favorece la activación de rutas biosintéticas asociadas a la síntesis de flavonoides. Los resultados obtenidos en esta variedad también son respaldados por Downey et al. (2006), quienes señalan que el manejo de la canopia y la exposición lumínica del racimo influyen directamente en la acumulación de compuestos fenólicos, pudiendo una mayor radiación incidente favorecer la síntesis de flavonoides. Estos resultados respaldan la sensibilidad de *Tannat* a prácticas que modifiquen el microclima del racimo.

En *Syrah*, la ausencia de incrementos relevantes en los antocianos totales tras DPF, pese a aumentos en el potencial de antocianos fácilmente extraíble y en el IPT, sugiere una respuesta más moderada, posiblemente vinculada a características intrínsecas de la variedad. Este comportamiento es coherente con estudios que muestran que variedades con epidermis más delgada o con menor acumulación de flavonoides responden de forma menos marcada a la exposición temprana (Poni et al., 2004). Sin embargo, la tendencia fue que los valores de IPT y ApH<sub>3,2</sub> fueran superiores en DPF respecto al TC, coincidiendo con diferentes autores (Mijowska et al., 2016; Pastore et al., 2013; Pavić et al., 2019) que mencionan que el deshoje prefloración en la zona de los racimos favorece rutas biosintéticas que incrementan el contenido de polifenoles y antocianos a nivel del hollejo, viéndose este incremento influenciado fuertemente por el genotipo y en menor medida por el ambiente. Por otra parte, los efectos del PCa en *Syrah*, observados en el incremento del IPT y en la leve mejora de la fracción de antocianos fácilmente extraíbles, coinciden con lo reportado por Rademacher (2016) sobre este regulador, mencionando que actúa reduciendo la biosíntesis de giberelinas, disminuyendo el vigor y modificando la dinámica de distribución de fotoasimilados.

## 5.5. EFECTO DE LOS TRATAMIENTOS EN LA COMPOSICIÓN HISTOLÓGICA DE LAS BAYAS

### 5.5.1. Número de capas del hollejo

Las diferencias observadas en el número de capas celulares del hollejo entre tratamientos y variedades se enmarcan dentro de la respuesta típica de la baya a las variaciones en disponibilidad de carbohidratos y en el equilibrio hormonal durante las

primeras etapas del desarrollo. La reducción celular registrada bajo el deshoje en prefloración en *Tannat* coincide con lo reportado por Poni et al. (2006), quienes demostraron que la menor superficie foliar temprana limita la división celular en el hollejo al reducir la oferta de fotoasimilados durante el período crítico de cuajado. Sin embargo, el mayor número de capas observado en el tratamiento PCa en *Syrah* podría estar asociado a modificaciones en los procesos de crecimiento de la baya inducidos por este regulador. El Prohexadione cálcico actúa inhibiendo etapas clave de la biosíntesis de giberelinas, hormonas que participan activamente en la expansión celular. Como consecuencia, la reducción del crecimiento por expansión puede derivar en bayas de menor tamaño, pero con tejidos relativamente más compactos o con una mayor proporción de estructuras celulares en el hollejo. Este comportamiento ha sido descrito en estudios sobre reguladores del crecimiento en vid, donde la inhibición de giberelinas altera la dinámica de crecimiento del fruto y la organización de sus tejidos (Lo Giudice et al., 2003; Rademacher, 2016).

Las diferencias observadas en el número de capas del hollejo entre las variedades *Tannat* (TC con 9,19 células promedio) y *Syrah* (TC con 7,5 células promedio) podrían tener su base en variaciones anatómicas entre cultivares. Diversos autores han documentado que la estructura del hollejo (incluyendo el número de capas, el grosor de la epidermis y la composición fenólica de la pared celular) presenta una marcada dependencia varietal, lo que influye directamente en la acumulación y extractabilidad de compuestos fenólicos (Ortega-Regules et al., 2008; Ristic & Iland, 2005). En particular, se ha demostrado que variedades de alto potencial fenólico, como *Tannat*, suelen desarrollar hollejos más robustos y con mayor número de capas en comparación con variedades de menor carga fenólica, lo que coincide con las diferencias encontradas en este estudio (González-Neves et al., 2004).

#### 5.5.2. Espesor de la cutícula

El espesor de la cutícula observado en ambas variedades y entre tratamientos se mantuvo dentro de un rango relativamente estrecho, sin diferencias estadísticas significativas, lo cual sugiere que los manejos aplicados (DPF y PCa) no modificaron de forma sustancial los procesos de síntesis y deposición cuticular. Esta estabilidad coincide con lo señalado por Rosenquist y Morrison (1989), quienes destacaron que la cutícula

posee una fuerte determinación genética y un grado limitado de plasticidad frente a variaciones moderadas del microclima.

En este sentido, la ausencia de diferencias entre tratamientos en *Tannat* y *Syrah* es consistente con Keller (2020), quien indica que las características estructurales del epicarpo, incluida la cutícula, se establecen en etapas tempranas del desarrollo de la baya y se encuentran mayormente determinadas por factores genéticos, lo que limita su capacidad de respuesta frente a intervenciones de manejo aplicadas en fases posteriores del ciclo.

### 5.5.3. Espesor de la epidermis

El espesor observado de la epidermis, que no mostró diferencias estadísticas significativas entre los tratamientos dentro de cada variedad, puede deberse a varios factores. En primer lugar, el DPF podría activar mecanismos compensatorios de la planta que eviten cambios estructurales perceptibles en la epidermis, posiblemente por no inducirse siempre modificaciones drásticas en la composición y morfología del fruto (Arrillaga et al., 2021). Esto sugiere que, pese a la alteración de la relación fuente-fosa mediante el deshojado previo a la floración, la vid podría mantener su arquitectura epidérmica.

Por otro lado, es posible que los tratamientos aplicados no hayan generado un nivel de estrés fisiológico suficiente como para inducir una remodelación anatómica marcada en los tejidos del fruto. En este sentido, la ausencia de un aumento significativo en el espesor de la epidermis bajo la aplicación de PCa en *Syrah* podría indicar que su principal efecto se relacionó con la inhibición de la expansión celular más que con un reforzamiento estructural de la epidermis. En concordancia con estos resultados, Lo Giudice et al. (2003) señalan que el Prohexadione cálcico reduce el crecimiento vegetativo y el peso de los frutos en vid, sin necesariamente provocar modificaciones anatómicas evidentes en el hollejo. Asimismo, Gapinski et al. (2024) mencionan que los tratamientos con PCa han sido utilizados principalmente para modificar la composición fenólica de las bayas, más que para generar cambios estructurales en los tejidos.

No obstante, las tendencias observadas entre tratamientos podrían estar asociadas a los efectos fisiológicos del Prohexadione cálcico sobre el crecimiento de los tejidos del fruto. Este regulador actúa inhibiendo etapas finales de la biosíntesis de giberelinas,

hormonas involucradas en los procesos de elongación y expansión celular. Como consecuencia, la reducción de la actividad giberelínica puede alterar la dinámica de crecimiento de los tejidos jóvenes y modificar la organización de las capas celulares del hollejo, aun cuando estos cambios no se traduzcan necesariamente en variaciones significativas en el espesor de la epidermis. Este tipo de respuestas ha sido reportado en estudios sobre reguladores del crecimiento en vid, donde la inhibición de giberelinas puede generar modificaciones en la morfología y estructura de los tejidos del fruto (Rademacher, 2016, 2000).

La tendencia a una epidermis con mayor espesor observada en el TC en *Tannat*, podría sugerir que la ausencia de prácticas de manejo preservó un microclima estable que favoreció un desarrollo epidérmico más uniforme por una formación más consistente de la cutícula y una diferenciación celular equilibrada en la epidermis de la baya (Río Segade et al., 2011).

Al contrario, el DPF al incrementar la exposición lumínica y térmica del racimo, puede haber alterado la síntesis de cutina y la expansión celular, habiendo generado una ligera reducción del espesor epidérmico. Esta tendencia coincide con lo señalado por Palliotti et al. (2011) quienes demostraron que el deshoje temprano puede disminuir la integridad cuticular y epidérmica según la variedad y el estado fenológico.

#### 5.5.4. Espesor de la hipodermis

El hecho de que el espesor de la hipodermis se mantuvo sin variaciones estadísticas apreciables en ambas variedades para todos los tratamientos podría deberse a varios factores. Una posible explicación sería que las interacciones fisiológicas entre fuente y fosa pueden no haberse traducido en una modificación del grosor de la hipodermis. A pesar del DPF, la vid podría reconfigurar su balance hídrico o su distribución de fotoasimilados para mantener la integridad anatómica del hollejo. Esto concuerda con lo expuesto por Tilbrook y Tyerman (2008), que mostraron que las bayas siguen comunicadas al xilema durante su maduración, lo que podría permitir una cierta estabilidad estructural frente a cambios agronómicos.

También es posible que la ultraestructura de la pared celular en la hipodermis sea un factor determinante. Según André et al. (2021) en cultivares de vid la hipodermis exhibe células alargadas con paredes celulares progresivamente más gruesas hacia el

interior del fruto, lo que podría conferir una resistencia mecánica que limita su alteración bajo tratamientos agronómicos.

Por último, el espesor hipodérmico podría estar limitado por factores genéticos intrínsecos. Massonnet (2015) menciona que la cantidad de capas celulares y el tamaño de las células hipodérmicas varían según la variedad, lo cual indica una fuerte componente varietal que puede definir un “grosor hipodérmico base” relativamente rígido y poco modificable por prácticas de manejo.

#### 5.5.5. Espesor total de epicarpo

La estabilidad del espesor total del epicarpo observada entre los distintos tratamientos puede explicarse por la robustez estructural de las capas que lo componen. En este sentido, Nunan et al. (2001) mostraron que la síntesis y acumulación de los componentes de la pared celular del hollejo sigue patrones fuertemente controlados durante el desarrollo de la baya, con una limitada capacidad de modificación frente a prácticas agronómicas.

Por otro lado, la base genética varietal podría representar un factor determinante del espesor total del epicarpo. Massonnet (2015) reportó diferencias claras entre cultivares en la cantidad de capas celulares de la piel y la proporción relativa entre epidermis e hipodermis, lo que sugiere que cada variedad presenta un perfil anatómico predeterminado que tiende a mantenerse aún bajo modificaciones del manejo foliar o de otras prácticas agronómicas. De este modo, la falta de cambios detectables entre tratamientos podría deberse a que el rango anatómico característico de cada variedad se mantiene estable.

Finalmente, la conexión hidráulica entre fuente y fosa, que persiste durante gran parte del desarrollo de la baya, también podría contribuir a la estabilidad estructural del epicarpo. Este hecho, podría asociarse con lo expuesto por Keller et al. (2006) quienes demostraron que las bayas permanecen activamente conectadas al xilema durante la maduración. En esta etapa, la baya recibe la mayor parte de la sacarosa y otros solutos, cuyo contenido se descarga en el apoplasto, aumentando la concentración osmótica de la baya. Como consecuencia, se reduce el gradiente de potencial hídrico, por lo que el xilema mantiene la capacidad de transportar agua, pero esta no ingresa a la baya porque su apoplasto está más concentrado en solutos (Bondada et al., 2005; Tyerman et al., 2004).

Esto permite una regulación hídrica continua capaz de amortiguar variaciones estructurales asociadas a prácticas de manejo como la remoción foliar o la aplicación de reguladores de crecimiento (Rogiers et al., 2006).

## 5.6. DISCUSIÓN INTEGRADA DE LOS PRINCIPALES RESULTADOS Y SU INTERRELACIÓN

### 5.6.1. Asociación de los resultados de las distintas variables en *Syrah*

Las diferencias observadas entre los tratamientos TC, DPF y PCa reflejan el modo en que cada práctica modificó el equilibrio entre crecimiento vegetativo, exposición del racimo y composición del fruto. La asociación del tratamiento TC con un mayor desarrollo vegetativo y con variables internas del fruto coincide con lo señalado por Smart y Robinson (1991), quienes describen que canopias más densas favorecen la acumulación de estructuras reproductivas internas (semillas y pulpa), pero reducen la exposición de los racimos y, por ende, la acumulación de azúcares y compuestos fenólicos. Esto es coherente con las relaciones negativas observadas entre TC y variables de madurez y composición del hollejo.

Por otro lado, el tratamiento DPF se asoció positivamente con variables de madurez y composición de la baya, lo que resulta consistente con la evidencia de que el deshoje temprano incrementa la exposición del racimo, mejora la relación fuente-fosa y acelera la madurez (Intrieri & Poni, 1995; Poni et al., 2006). Las asociaciones negativas entre DPF y variables vegetativas, como número de capas de hojas, coinciden con el efecto directo del deshoje en la reducción del vigor aparente y la redistribución del carbono hacia estructuras reproductivas. Así, los resultados concuerdan con que la apertura de la canopia favorece la síntesis de compuestos del hollejo y la concentración de sólidos solubles (Kliewer & Dokoozlian, 2005).

Finalmente, el tratamiento PCa mostró una estrecha vinculación con diversos parámetros del hollejo y con indicadores de madurez, lo cual guarda correspondencia con reportes previos sobre la acción del Prohexadione Cálcico en la reducción del vigor y el fortalecimiento de la diferenciación de los tejidos del hollejo (Rademacher, 2000). Estas modificaciones en la estructura de la baya suelen favorecer una mayor acumulación de compuestos fenólicos, lo que concuerda con su proximidad a variables como mayor IPT y mayor potencial de antocianos fácilmente extraíbles (ApH 3,2).

### 5.6.2. Asociación de los resultados de las distintas variables en *Tannat*

La asociación del tratamiento TC con un mayor vigor vegetativo (reflejado en mayores espesores de tejidos del hollejo, mayor superficie foliar expuesta potencial y mayores pesos de racimos y bayas) es coherente con la respuesta típica de plantas con canopia más densa y menor intervención en la zona productiva. Investigaciones previas han demostrado que canopias más desarrolladas suelen generar microclimas sombreados que favorecen el crecimiento de tejidos estructurales del fruto y aumentan el peso de las bayas, pero reducen la exposición solar y, en consecuencia, la acumulación de azúcares y otros compuestos asociados a la madurez (Dry & Loveys, 1998; Smart & Robinson, 1991)

Por otro lado, el tratamiento DPF mostró relaciones positivas con variables vinculadas al aumento de la exposición de los racimos, a la madurez de la baya (sólidos solubles, pH, AT) y a la composición fenólica (ApH<sub>3,2</sub> e IPT), lo cual se corresponde con los efectos conocidos del deshoje temprano. Esto concuerda con diversos autores que han documentado que el deshoje en prefloración reduce el vigor vegetativo, incrementa la ventilación y luminosidad en la zona de racimos, y favorece la síntesis y acumulación de compuestos de calidad, además de generar frutos de menor peso y estructuras epidérmicas menos desarrolladas (Arrillaga et al., 2021; Poni et al., 2006; Verdenal et al., 2017). Asimismo, el incremento en el número de semillas bajo DPF concuerda con estudios que indican que la mayor exposición temprana puede modular la fecundación y el desarrollo de las semillas (Candolfi-Vasconcelos & Koblet, 1990).

## 6. CONCLUSIONES

Las condiciones climáticas generaron un ambiente desfavorable para el desarrollo de enfermedades fúngicas asociadas a podredumbres de racimo. La incidencia de *Botrytis cinerea* fue nula en todos los tratamientos y como resultado se obtuvieron uvas con excelente estado sanitario al momento de la cosecha.

El efecto de los tratamientos sobre los parámetros vegetativos fue leve existiendo diferencias significativas en alguno de ellos. La Superficie Foliar Expuesta Potencial no presentó efectos significativos entre los tratamientos dentro de cada variedad, pero si entre variedades, con mayor SFEP en *Syrah*. Tampoco hubo diferencias significativas en la proporción de racimos expuestos, aunque el deshoje mostró una tendencia a mayor exposición en ambas variedades. Sin embargo, aunque el número de capas de hojas se mantuvo dentro de rangos óptimos, en *Syrah* los tratamientos redujeron la densidad foliar respecto al testigo.

En relación al rendimiento productivo, el número de racimos por planta no fue afectado por los tratamientos, evidenciando que las diferencias correspondieron al genotipo, con mayor carga en *Syrah*. El peso de racimo no presentó diferencias significativas, pero se observaron leves tendencias a disminución del peso bajo PCa en *Syrah* y DPF en *Tannat*. El rendimiento por planta no fue modificado por los tratamientos y *Syrah* resultó más productiva que *Tannat*. El PCa redujo significativamente el peso de baya en *Syrah*, pero el DPF no generó cambios significativos; mientras que en *Tannat* el DPF redujo significativamente el tamaño de baya.

La respuesta fisiológica en relación a la compacidad de racimos no fue significativa, aunque en *Tannat* el deshoje tendió a descompactar los racimos. De igual manera, se mantuvo un patrón fisiológico normal respecto a la evolución del peso de baya, aunque en *Syrah* el PCa limitó el crecimiento final.

Respecto a la composición de la baya, los sólidos solubles aumentaron normalmente durante la maduración, no habiendo diferencias entre tratamientos en los valores a cosecha; la acidez total disminuyó progresivamente en ambas variedades, sin diferencias finales entre tratamientos; el pH aumentó durante la maduración, teniendo un limitado efecto de los tratamientos; y los valores de antocianos e IPT correspondientes a

la composición fenólica en *Tannat* se incrementaron con el deshoje, mientras que en *Syrah* las respuestas fueron moderadas.

La estructura histológica de las bayas respecto al espesor de cutícula, espesor de epidermis, espesor de hipodermis y espesor total del epicarpo, no evidenció diferencias significativas entre tratamientos ni entre variedades, indicando una marcada estabilidad estructural de estos tejidos. Sin embargo, el número de capas del hollejo mostró un comportamiento diferencial, entre variedades y dentro de cada variedad. Mientras que en *Tannat* los valores más elevados se observaron en el TC, en *Syrah* los tratamientos DPF y particularmente PCa produjeron incrementos significativos de este parámetro.

Finalmente, los tratamientos aplicados a *Tannat* (DPF) y *Syrah* (DPF y PCa) se asociaron con mayor madurez y calidad tecnológica del mosto, en tanto que los tratamientos testigos presentaron mayor desarrollo vegetativo.

## 7. BIBLIOGRAFÍA

- Alaniz, S., Gepp, V., Mondino, P., Leoni, C., Mujica, V., Núñez, S., & Scatoni, I. (2016). *Guía de identificación y monitoreo de enfermedades y plagas en frutales de hoja caduca y vid bajo manejo integrado*. AFRUPI.
- Altamirano, A., da Silva, H., Durán, A., Echevarría, A., Puentes, R., & Panario, D. (1976). *Carta de reconocimiento de suelos del Uruguay: Vol. I. Clasificación de suelos del Uruguay*. MAP.
- Andrades, M. (1990). Fisiología de la maduración de la uva. *Viticultura y Enología Profesional*, (9), 21-30.
- André, M., Lacampagne, S., Barsacq, A., Gontier, E., Petrel, M., Mercier, L., Courrot, D., & Gény-Denis, L. (2021). Physical, anatomical, and biochemical composition of skins cell walls from two grapevine cultivars (*Vitis vinifera* L.) of champagne region related to their susceptibility to *Botrytis cinerea* during ripening. *Horticulturae*, 7(10), Artículo e413. <https://doi.org/10.3390/horticulturae7100413>
- Arrillaga, L., Echeverría, G., Izquierdo, B., Rey, J. J., Pallante, A., & Ferrer, M. (2021). Response of Tannat (*Vitis vinifera* L.) to pre-flowering leaf removal in a humid climate. *OENO One*, 55(2), 251-266. <https://doi.org/10.20870/oeno-one.2021.55.2.4613>
- Arrillaga López, L. (2017). *Aplicación de técnicas para reducir la compacidad del racimo de la variedad Tannat y análisis de sus efectos sobre el rendimiento, la sanidad y la composición de la baya* [Trabajo final de grado]. Universidad de la República.
- Arrillaga López, L. (2021). *Estudio de la interacción ambiente-planta y técnicas de cultivo sobre el rendimiento, la composición y sanidad de uvas Tannat (Vitis vinifera L.)* [Tesis de maestría]. Universidad de la República.
- Azcón-Bieto, J., & Talón, M. (Coords.). (2008). *Fundamentos de fisiología vegetal* (2ª ed.). McGraw-Hill.
- Balsari, P., & Scienza, A. (2004). *Formas de cultivo de la vid y modalidades de distribución de los productos fitosanitarios*. Mundi-Prensa.

- Battista, F., Tomasi, D., Porro, D., Caicci, F., Giacosa, S., & Rolle, L. (2015). Winegrape berry skin thickness determination: Comparison between histological observation and texture analysis determination. *Italian Journal of Food Science*, 27(2), 136-141.
- Blancquaert, E. H., Oberholster, A., Ricardo-da-Silva, J. M., & Deloire, A. J. (2019). Effects of abiotic factors on phenolic compounds in the grape berry: A review. *South African Journal of Enology and Viticulture*, 40(1).  
<https://scielo.org.za/pdf/sajev/v40n1/12.pdf>
- Bondada, B. R., Matthews, M. A., & Shackel, K. A. (2005). Functional xylem in the post-veraison grape berry. *Journal of Experimental Botany*, 56(421), 2949-2957.  
<https://doi.org/10.1093/jxb/eri291>
- Bonini, P., Danesi, B., Gabrielli, M., & Poni, S. (2025). Effects of automated fruit-zone irrigation cooling and basal leaf removal on physiology and performances of field grown Sauvignon blanc and Barbera grapevines. *Irrigation Science*, 43(6), 1485-1502. <https://doi.org/10.1007/s00271-025-01035-8>
- Boulet, J. C., Vernhet, A., Poncet-Legrand, C., Cheynier, V., & Doco, T. (2024). Exploring the role of grape cell wall and yeast polysaccharides in the extraction and stabilisation of anthocyanins and tannins in red wines. *OENO One*, 58(1).  
<https://doi.org/10.20870/oenone.2024.58.1.7793>
- Boulton, R. B., Singleton, V. L., Bisson, L. F., & Kunkee, R. E. (1999). *Principles and practices of winemaking*. Springer.
- Bowers, J. E., Siret, R., This, P., & Boursiquot, J.-M. (2000). A single pair of parents proposed for a group of grapevine varieties in Northeastern France. *Acta Horticulturae*, (528), 129-132. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2000.528.15>
- Brizzolara, S., Minnocci, A., Yembaturova, E., & Tonutti, P. (2020). Ultrastructural analysis of berry skin from four grape varieties at harvest and in relation to postharvest dehydration. *OENO One*, 54(4), 1121-1131.  
<https://doi.org/10.20870/oenone.2020.54.4.4165>

- Bubola, M., Sivilotti, P., Janjanin, D., & Poni, S. (2017). Early leaf removal has a larger effect than cluster thinning on grape phenolic composition in cv. Teran. *American Journal of Enology and Viticulture*, 68(2), 234-242.  
<https://doi.org/10.5344/ajev.2016.16071>
- Candolfi-Vasconcelos, M. C., & Koblet, W. (1990). Yield, fruit quality, bud fertility and starch reserves of the wood as a function of leaf removal in *Vitis vinifera*: Evidence of compensation and stress recovering. *Vitis*, 29, 199-221.
- Carbonell-Bejerano, P., Diago, M. P., Martínez-Abaigar, J., Martínez-Zapater, J. M., Tardaguila, J., & Núñez-Olivera, E. (2014). Solar ultraviolet radiation is necessary to enhance grapevine fruit ripening transcriptional and phenolic responses. *BMC Plant Biology*, 14(1), Artículo e183.  
<https://doi.org/10.1186/1471-2229-14-183>
- Casanova, L., Casanova, R., Moret, A., & Agustí, M. (2009). The application of gibberellic acid increases berry size of “Emperatriz” seedless grape. *Spanish Journal of Agricultural Research*, 7(4), 919-927.
- Cataldo, E., Salvi, L., Paoli, F., Fucile, M., & Battista, M. G. (2021). Effects of defoliation at fruit set on vine physiology and berry composition in Cabernet Sauvignon grapevines. *Plants*, 10(6), Artículo e1183.  
<https://doi.org/10.3390/plants10061183>
- Champagnol, F. (1984). *Éléments de physiologie de la vigne et de viticulture générale*. Champagnol.
- Chaves, M. M., Zarrouk, O., Francisco, R., Costa, J. M., Santos, T., Regalado, A. P., Rodrigues, M. L., & Lopes, C. M. (2010). Grapevine under deficit irrigation: Hints from physiological and molecular data. *Annals of Botany*, 105(5), 661-676. <https://doi.org/10.1093/aob/mcq030>
- Ciliberti, N., Fermaud, M., Roudet, J., & Rossi, V. (2015). Environmental conditions affect Botrytis cinerea infection of mature grape berries more than the strain or transposon genotype. *Phytopathology*, 105(8), 1090-1096.  
<https://doi.org/10.1094/PHYTO-10-14-0264-R>

- 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. *Food*, 1(1), 1-22.
- Coombe, B. G. (1973). The regulation of set and development of the grape berry. *Acta Horticulturae*, (34), 261-274. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.1973.34.36>
- Coombe, B. G. (1992). Research on development and ripening of the grape berry. *American Journal of Enology and Viticulture*, 43(1), 101-110. <https://doi.org/10.5344/ajev.1992.43.1.101>
- Coombe, B. G. (1995). Growth stages of the grapevine: Adoption of a system for identifying grapevine growth stages. *Australian Journal of Grape and Wine Research*, 1(2), 104-110. <https://doi.org/10.1111/j.1755-0238.1995.tb00086.x>
- Coombe, B. G., & McCarthy, M. G. (2000). Dynamics of grape berry growth and physiology of ripening. *Australian Journal of Grape and Wine Research*, 6(2), 131-135. <https://doi.org/10.1111/j.1755-0238.2000.tb00171.x>
- Davies, C., Boss, P. K., & Robinson, S. P. (1997). Treatment of grape berries, a nonclimacteric fruit with a synthetic auxin, retards ripening and alters the expression of developmentally regulated genes. *Plant Physiology*, 115(3), 1155-1161. <https://doi.org/10.1104/pp.115.3.1155>
- Diago, M. P. (2010). *Estudio y desarrollo del deshojado precoz como técnica para el control del rendimiento productivo de la vid (Vitis vinifera L.): Efectos sobre el desarrollo vegetativo, los componentes de la producción, así como sobre la composición y la calidad de la uva y del vino* [Disertación doctoral]. Universidad de La Rioja.
- Diago, M. P., Ayestarán, B., Guadalupe, Z., Garrido, Á., & Tardáguila, J. (2012). Phenolic composition of Tempranillo wines following early defoliation of the vines. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 92(4), 925-934. <https://doi.org/10.1002/jsfa.4671>

- Disegna, E., Ferrari, V., & Coniberti, A. (2017). Comparative study of commercial clones of Tannat (*Vitis vinifera* L.) in southern Uruguay. *Agrociencia (Uruguay)*, 21(1), 33-42. <https://doi.org/10.31285/AGRO.21.1.5>
- Dokoozlian, N. K., & Kliewer, W. M. (1996). Influence of light on grape berry growth and composition varies during fruit development. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, 121(5), 869-874.
- Dorcey, E., Urbez, C., Blázquez, M. A., Carbonell, J., & Perez-Amador, M. A. (2009). Fertilization-dependent auxin response in ovules triggers fruit development through the modulation of gibberellin metabolism in Arabidopsis. *The Plant Journal*, 58(2), 318-332. <https://doi.org/10.1111/j.1365-313X.2008.03781.x>
- Downey, M. O., Dokoozlian, N. K., & Krstic, M. P. (2006). Cultural practice and environmental impacts on the flavonoid composition of grapes and wine: A review of recent research. *American Journal of Enology and Viticulture*, 57(3), 257-268. <https://doi.org/10.5344/ajev.2006.57.3.257>
- Dry, P. R., & Loveys, B. R. (1998). Factors influencing grapevine vigour and the potential for control with partial rootzone drying. *Australian Journal of Grape and Wine Research*, 4(3), 140-148. <https://doi.org/10.1111/j.1755-0238.1998.tb00143.x>
- Echeverría, G. (2017). *Adaptación agroecológica de la vid en los terroirs costeros de Uruguay* [Disertación doctoral]. Universidad de la República.
- Echeverría, G., Ferrer, M., & Mirás-Avalos, J. (2017). Quantifying the relative impact of physical and human factors on the viticultural expression of terroir. *International Journal of Environmental & Agriculture Research*, 3(4), 12-25.
- Ellison, P., Ash, G., & McDonald, C. (1998). An expert system for the management of *Botrytis cinerea* in Australian vineyards: I. Development. *Agricultural Systems*, 56(2), 185-207. [https://doi.org/10.1016/S0308-521X\(97\)00035-8](https://doi.org/10.1016/S0308-521X(97)00035-8)
- Elmer, P. A., & Michailides, T. J. (2007). Epidemiology of *Botrytis cinerea* in orchard and vine crops. En Y. Elad, B. Williamson, P. Tudzynski & N. Delen (Eds.), *Botrytis: Biology, pathology and control* (pp. 243-272). Springer.

- Esau, K. (1977). *Anatomy of seed plants* (2<sup>nd</sup> ed.). John Wiley & Sons.
- European Food Safety Authority. (2010). Conclusion on the peer review of the pesticide risk assessment of prohexadione. *EFSA Journal*, 8(1), Artículo e1441. <https://doi.org/10.2903/j.efsa.2010.1441>
- Evans, J. R., Dunne, K. J., Riches, D., Edwards, J., Beresford, R. M., & Hill, G. N. (2010). *Effective management of Botrytis bunch rot for cool climate viticulture*. Wine Australia. <https://www.wineaustralia.com/getmedia/3eb20c93-e535-4e1b-9989-7ebc16b3ce3c/UT-06-01>
- Evans, J. R., Evans, R. R., Regusci, C. L., & Rademacher, W. (1999). Mode of action, metabolism, and uptake of BAS 125W, prohexadione-calcium. *HortScience*, 34(7), 1200-1201.
- Fahn, A. (1990). *Plant anatomy* (4<sup>th</sup> ed.). Pergamon Press.
- Ferraro Olmos, R. (1998). *El viñedo uruguayo: Sus variedades*. Impal.
- Ferrer, M., González-Neves, G., Echeverría, G., Camussi, G., Avondet, R., Salvarrey, J., Favre, G., & Fourment, M. (2011). Comportamiento agronómico y potencial enológico de la uva Tannat en tres regiones climáticas uruguayas. *Agrociencia (Uruguay)*, 15(1), 37-49. <https://doi.org/10.31285/AGRO.15.609>
- Ferrer, M., 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.
- Fortes, A. M., Teixeira, R. T., & Agudelo-Romero, P. (2015). Complex interplay of hormonal signals during grape berry ripening. *Molecules*, 20(5), 9326-9343. <https://doi.org/10.3390/molecules20059326>
- Fourment, M., & Piccardo, D. (2023). What grapes and wines to expect with the drought? *Agrociencia Uruguay*, 27(Suppl.), Artículo e1206. <https://doi.org/10.31285/AGRO.27.1206>

- Gapinski, A. D., Slack, S. M., & Watrelot, A. A. (2024). Foliar applications of phenylalanine and prohexadione calcium for managing tannin content in cold-hardy hybrid grape cultivars. *OENO One*, 58(3). <https://doi.org/10.20870/oeno-one.2024.58.3.8166>
- Gepp, V., Vero, S., Cassanello, M. E., Romero, G., Silvera, E., González, P., Rebellato, J., Ferreira, Y., & Bentancur, O. (2012). Resistencia a fungicidas en *Botrytis cinerea* en el Uruguay. *Agrociencia (Uruguay)*, 16(1), 97-107. <https://doi.org/10.31285/AGRO.16.572>
- González-Neves, G., Barreiro, L., Gil, G., Franco, J., Ferrer, M., Moutounet, M., & Carbonneau, A. (2004). Anthocyanic composition of Tannat grapes from the south region of Uruguay. *Analytica Chimica Acta*, 513(1), 197-202. <https://doi.org/10.1016/j.aca.2003.11.078>
- González-Neves, G., Ferrer, M., Gil, G., Charamelo, D., Balado, J., Barreiro, L., Bochicchio, R., Gatto, G., & Tessore, A. (2010). Estudio plurianual del potencial polifenólico de uvas Tannat en el sur de Uruguay. *Agrociencia (Uruguay)*, 14(2), 10-21.
- González-Neves, G., Gil, G., Barreiro, L., Ferrer, M., & Franco, J. (2006). Composición fenólica de las uvas de las principales variedades tintas de *Vitis vinífera* L. cultivadas en Uruguay. *Agrociencia (Uruguay)*, 10(2), 1-14.
- Goulao, L. F., Fernandes, J. C., Lopes, P., & Amâncio, S. (2012). Tackling the cell wall of the grape berry. En H. Gerós, M. M. Chaves, & S. Delrot (Eds.), *The biochemistry of the grape berry* (pp. 172-193). Bentham Science Publishers.
- Hahn, M. (2014). The rising threat of fungicide resistance in plant pathogenic fungi: *Botrytis* as a case study. *Journal of Chemical Biology*, 7, 133-141. <https://doi.org/10.1007/s12154-014-0113-1>
- Harborne, J. B. (1989). General procedures and measurement of total phenolics. En J. B. Harborne (Ed.), *Methods in plant biochemistry* (Vol. 1, pp. 1-28). Academic Press.

- Hernández-Hierro, J. M., Quijada-Morín, N., Martínez-Lapuente, L., Guadalupe, Z., Ayestarán, B., Rivas-Gonzalo, J. C., & Escribano-Bailón, M. T. (2014). Relationship between skin cell wall composition and anthocyanin extractability of *Vitis vinifera* L. cv. Tempranillo at different grape ripeness degree. *Food Chemistry*, 146, 41-47. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2013.09.037>
- Hunter, J. J. (2000). Implications of seasonal canopy management and growth compensation in grapevine. *South African Journal of Enology and Viticulture*, 21(2), 81-91.
- Hunter, J. J., & Archer, E. (2002, 18 de mayo). Papel actual y perspectivas futuras de la gestión del follaje. *Acenología*. [https://www.acenologia.com/ciencia59\\_2/](https://www.acenologia.com/ciencia59_2/)
- Hunter, J. J., Ruffner, H. P., Volschenk, C. G., & Le Roux, D. J. (1995). Partial defoliation of *Vitis vinifera* L. cv. Cabernet Sauvignon/99 Richter: Effect on root growth, canopy efficiency; grape composition, and wine quality. *American Journal of Enology and Viticulture*, 46(3), 306-314.
- Hunter, J. J., & Visser, J. H. (1990). The effect of partial defoliation on growth characteristics of *Vitis vinifera* L. cv. Cabernet Sauvignon: II. Reproductive growth. *South African Journal of Enology and Viticulture*, 11(1), 26-32.
- Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria. (s.f.). *Banco de datos agroclimáticos*. <https://www.inia.uy/gras/Clima/Banco-datos-agroclimatico>
- Instituto Nacional de Vitivinicultura. (s.f.). *Las variedades*. <https://www.inavi.com.uy/variedades/>
- Instituto Nacional de Vitivinicultura. (2020). *Estadística de elaboración anual*. <https://www.inavi.com.uy/generar-reporte/estadistica-de-elaboracion-anual/>
- Instituto Uruguayo de Meteorología. (s.f.a). *Observaciones meteorológicas: Precipitación puntual* [Conjunto de datos]. <https://catalogodatos.gub.uy/dataset/inumet-observaciones-meteorologicas-precipitacion-puntual-en-el-uruguay/resource/49d18142-5f50-49d0-90ad-7e229380ee77>

- Instituto Uruguayo de Meteorología. (s.f.b). *Observaciones meteorológicas: Temperatura del aire* [Conjunto de datos]. <https://catalogodatos.gub.uy/dataset/inumet-observaciones-meteorologicas-temperatura-del-aire-en-el-uruguay/resource/312e82ee-7c19-49a9-9388-c5657c8b38ec>
- International Organisation of Vine and Wine. (2018). *OIV statistical report on world vitiviniculture 2018*. <https://www.oiv.int/public/medias/6371/oiv-statistical-report-on-world-vitiviniculture-2018.pdf>
- Intrieri, C., Filippetti, I., Allegro, G., Centinari, M., & Poni, S. (2008). Early defoliation (hand vs mechanical) for improved crop control and grape composition in Sangiovese (*Vitis vinifera* L.). *Australian Journal of Grape and Wine Research*, 14(1), 25-32. <https://doi.org/10.1111/j.1755-0238.2008.00004.x>
- Intrieri, C., & Poni, S. (1995). Integrated evolution of trellis training systems and machines to improve grape quality and vintage quality of mechanized Italian vineyards. *American Journal of Enology and Viticulture*, 46(1), 116-127.
- Izquierdo Pacheco, B. (2019). *Evaluación de técnicas alternativas para la descompactación del racimo, como forma de control de podredumbres de racimo de la variedad Tannat* [Trabajo final de grado]. Universidad de la República.
- Jackson, D. I., & Lombard, P. B. (1993). Environmental and management practices affecting grape composition and wine quality: A review. *American Journal of Enology and Viticulture*, 44(4), 409-430.
- Jackson, R. S. (2020). *Wine science: Principles and applications* (5<sup>th</sup> ed.). Academic Press.
- Johansen, D. A. (1940). *Plant microtechnique*. McGraw-Hill.
- Keller, M. (2015). *The science of grapevines: Anatomy and physiology* (2<sup>nd</sup> ed.). Academic Press.
- Keller, M. (2020). *The science of grapevines* (3<sup>rd</sup> ed.). Academic Press.

- Keller, M., Smith, J. P., & Bondada, B. R. (2006). Ripening grape berries remain hydraulically connected to the shoot. *Journal of Experimental Botany*, 57(11), 2577-2587. <https://doi.org/10.1093/jxb/erl020>
- Keller, M., Viret, O., & Cole, F. M. (2003). *Botrytis cinerea* infection in grape flowers: Defense reaction, latency, and disease expression. *Phytopathology*, 93(3), 316-322. <https://doi.org/10.1094/PHYTO.2003.93.3.316>
- Kennedy, J. A., Saucier, C., & Glories, Y. (2006). Grape and wine phenolics: History and perspective. *American Journal of Enology and Viticulture*, 57(3), 239-248.
- Kliewer, W. M., & Dokoozlian, N. K. (2005). Leaf area/crop weight ratios of grapevines: Influence on fruit composition and wine quality. *American Journal of Enology and Viticulture*, 56(2), 170-181.
- Lebon, G., Wojnarowicz, G., Holzapfel, B., Fontaine, F., Vaillant-Gaveau, N., & Clément, C. (2008). Sugars and flowering in the grapevine (*Vitis vinifera* L.). *Journal of Experimental Botany*, 59(10), 2565-2578. <https://doi.org/10.1093/jxb/ern135>
- Leroux, P. (2007). Chemical control of *Botrytis* and its resistance to chemical fungicides. En Y. Elad, B. Williamson, P. Tudzynski & N. Delen (Eds.), *Botrytis: Biology, pathology and control* (pp. 195-222). Springer. [https://doi.org/10.1007/978-1-4020-2626-3\\_12](https://doi.org/10.1007/978-1-4020-2626-3_12)
- Lo Giudice, D., Wolf, T. K., & Marini, R. P. (2003). Vegetative response of *Vitis vinifera* to prohexadione-calcium. *HortScience*, 38(7), 1435-1438. <https://doi.org/10.21273/HORTSCI.38.7.1435>
- Massonnet, M. (2015). *Berry transcriptome comparison of ten Italian grapevine varieties* [Disertación doctoral]. Università degli Studi di Verona.
- Mato, I., Suárez-Luque, S., & Huidobro, J. F. (2005). A review of the analytical methods to determine organic acids in grape juices and wines. *Food Research International*, 38(10), 1175-1188. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2005.04.007>

- McClellan, W. D., & Hewitt, W. B. (1973). Early Botrytis rot of grapes: Time of infection and latency of *Botrytis cinerea* Pers. in *Vitis vinifera* L. *Phytopathology*, 63, 1151-1157.
- McGovern, P. E. (2003). *Ancient wine: The search for the origins of viniculture*. Princeton University Press.
- Mijowska, K., Ochmian, I., & Oszmiański, J. (2016). Impact of cluster zone leaf removal on grapes cv. regent polyphenol content by the UPLC-PDA/MS method. *Molecules*, 21(12), Artículo e1688.  
<https://doi.org/10.3390/molecules21121688>
- Ministerio de Ganadería, Agricultura y Pesca. (2020). *Descripción de grupos de suelos CO.N.E.A.T.* [https://www.gub.uy/ministerio-ganaderia-agricultura-pesca/sites/ministerio-ganaderia-agricultura-pesca/files/2020-03/Descripci%C3%B3n%20de%20Grupos%20de%20suelos%20CONEAT\\_0.pdf](https://www.gub.uy/ministerio-ganaderia-agricultura-pesca/sites/ministerio-ganaderia-agricultura-pesca/files/2020-03/Descripci%C3%B3n%20de%20Grupos%20de%20suelos%20CONEAT_0.pdf)
- Molitor, D., Behr, M., Fischer, S., Hoffmann, L., & Evers, D. (2011). Timing of cluster-zone leaf removal and its impact on canopy morphology, cluster structure and bunch rot susceptibility of grapes. *OENO One*, 45(3), 149-159.
- Moreno Cardona, D. (2019). *Efecto del deshojado precoz sobre la calidad de uvas y vinos del cv. Tempranillo en condiciones de clima semiárido* [Disertación doctoral, Universidad de Extremadura]. Dehesa.  
<https://dehesa.unex.es/server/api/core/bitstreams/2129a7e6-7829-45a2-a565-28a669470bbd/content>
- Nair, N. G., & Allen, R. N. (1993). Infection of grape flowers and berries by *Botrytis cinerea* as a function of time and temperature. *Mycological Research*, 97(8), 1012-1014.
- Nakayama, I., Kamiya, Y., Kobayashi, M., Abe, H., & Sakurai, A. (1990). Effects of a plant-growth regulator, prohexadione, on the biosynthesis of gibberellins in cell-free systems derived from immature seeds. *Plant and Cell Physiology*, 31(8), 1183-1190. <https://doi.org/10.1093/oxfordjournals.pcp.a078033>

- Nicolosi, E., Continella, A., Gentile, A., Cicala, A., & Ferlito, F. (2012). Influence of early leaf removal on autochthonous and international grapevines in Sicily. *Scientia Horticulturae*, 146, 1-6. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2012.07.033>
- Nunan, K. J., Davies, C., Robinson, S. P., & Fincher, G. B. (2001). Expression patterns of cell wall-modifying enzymes during grape berry development. *Planta*, 214(2), 257-264. <https://doi.org/10.1007/s004250100609>
- Organisation Internationale de la Vigne et du Vin. (2009). *2<sup>nde</sup> edition de la liste des descripteurs OIV pour les varietes et especes de Vitis* (2<sup>nd</sup> ed.). <https://www.oiv.int/public/medias/2274/code-2e-edition-finale.pdf>
- Ortega-Regules, A., Ros-García, J. M., Bautista-Ortín, A. B., López-Roca, J. M., & Gómez-Plaza, E. (2008). Changes in skin cell wall composition during the maturation of four premium wine grape varieties. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 88(3), 420-428. <https://doi.org/10.1002/jsfa.3102>
- Palliotti, A., Gatti, M., & Poni, S. (2011). Early leaf removal to improve vineyard efficiency: Gas exchange, source-to-sink balance, and reserve storage responses. *American Journal of Enology and Viticulture*, 62(2), 219-228. <https://doi.org/10.5344/ajev.2011.10094>
- Pañitru-De la Fuente, C., Valdés-Gómez, H., Roudet, J., Acevedo-Opazo, C., Verdugo-Vásquez, N., Araya-Alman, M., Lolas, M., Moreno, Y., & Fermaud, M. (2018). Classification of winegrape cultivars in Chile and France according to their susceptibility to *Botrytis cinerea* related to fruit maturity. *Australian Journal of Grape and Wine Research*, 24(2), 145-157. <https://doi.org/10.1111/ajgw.12315>
- Pastore, C., Zenoni, S., Fasoli, M., Pezzotti, M., Tornielli, G. B., & Filippetti, I. (2013). Selective defoliation affects plant growth, fruit transcriptional ripening program and flavonoid metabolism in grapevine. *BMC Plant Biology*, 13(1), Artículo e30. <https://doi.org/10.1186/1471-2229-13-30>

- Pavić, V., Kujundžić, T., Kopic, M., Jukić, V., Braun, U., Schwander, F., & Drenjančević, M. (2019). Effects of defoliation on phenolic concentrations, antioxidant and antibacterial activity of grape skin extracts of the varieties Blaufränkisch and Merlot (*Vitis vinifera* L.). *Molecules*, 24(13), Artículo e2444. <https://doi.org/10.3390/molecules24132444>
- Pecket, R. C., & Small, C. J. (1980). Occurrence, location and development of anthocyanoplasts. *Phytochemistry*, 19(12), 2571-2576.
- Peña-Neira, A., Cortiella, M. G. I., Ubeda, C., Pastenes, C., Villalobos, L., Contador, L., Infante, R., & Gómez, C. (2023). Phenolic, polysaccharides composition, and texture properties during ripening and storage time of new table grape cultivars in Chile. *Plants*, 12(13), Artículo e2488. <https://doi.org/10.3390/plants12132488>
- Peynaud, E. (1984). *Knowing and making wine*. John Wiley & Sons.
- PlantGrape. (s.f.). *Syrah N: Wine grape variety*. <https://www.plantgrape.fr/en/varieties/fruit-varieties/267>
- Poni, S., Bernizzoni, F., Briola, G., & Cenni, A. (2004). Effects of early leaf removal on cluster morphology, shoot efficiency and grape quality in two *Vitis vinifera* L. cultivars. *Acta Horticulturae*, (689), 217-226. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2005.689.24>
- Poni, S., Bernizzoni, F., & Civardi, S. (2008). The effect of early leaf removal on whole-canopy gas exchange and vine performance of *Vitis vinifera* L. Sangiovese. *Vitis*, 47(1), 1-6. <https://doi.org/10.5073/vitis.2008.47.1-6>
- Poni, S., Bernizzoni, F., Civardi, S., & Libelli, N. (2009). Effects of pre-bloom leaf removal on growth of berry tissues and must composition in two red *Vitis vinifera* L. cultivars. *Australian Journal of Grape and Wine Research*, 15(2), 185-193. <https://doi.org/10.1111/j.1755-0238.2008.00044.x>
- Poni, S., Casalini, L., Bernizzoni, F., Civardi, S., & Intrieri, C. (2006). Effects of early defoliation on shoot photosynthesis, yield components, and grape composition. *American Journal of Enology and Viticulture*, 57, 397-407. <https://doi.org/10.5344/ajev.2006.57.4.397>

- Porro, D., Ramponi, M., Tomasi, T., Rolle, L., & Poni, S. (2008). Nutritional implications of water stress in grapevine and modifications of mechanical properties of berries. *Acta Horticulturae*, (868), 73-80.
- Rademacher, W. (2000). Growth retardants: Effects on gibberellin biosynthesis and other metabolic pathways. *Annual Review of Plant Biology*, 51, 501-531.  
<https://doi.org/10.1146/annurev.arplant.51.1.501>
- Rademacher, W. (2016). Chemical regulators of gibberellin status and their application in plant production. En P. Hedden & S. G. Thomas (Eds.), *Annual plant reviews: The gibberellins: Vol. 49. The Gibberellins* (pp. 359-404). Wiley-Blackwell.  
<https://doi.org/10.1002/9781119210436.ch12>
- Ribéreau-Gayon, P., Dubourdieu, D., Donèche, B., & Lonvaud, A. (2006). *Handbook of enology: Vol. 1. The microbiology of wine and vinifications* (2<sup>nd</sup> ed.). John Wiley & Sons.
- Rienth, M., Torregrosa, L., Sarah, G., Ardisson, M., Brillouet, J. M., & Romieu, C. (2016). Temperature desynchronizes sugar and organic acid metabolism in ripening grapevine fruits and remodels their transcriptome. *BMC Plant Biology*, 16(1), Artículo e164. <https://doi.org/10.1186/s12870-016-0850-0>
- Río Segade, S., Giacosa, S., Gerbi, V., & Rolle, L. (2011). Berry skin thickness as main texture parameter to predict anthocyanin extractability in winegrapes. *LWT - Food Science and Technology*, 44(2), 392-398.  
<https://doi.org/10.1016/j.lwt.2010.09.004>
- Risco, D., Pérez, D., Yeves, A., Castel, J. R., & Intrigliolo, D. S. (2014). Early defoliation in a temperate warm and semi-arid Tempranillo vineyard: Vine performance and grape composition. *Australian Journal of Grape and Wine Research*, 20(1), 111-122. <https://doi.org/10.1111/ajgw.12049>
- Ristic, R., & Iland, P. G. (2005). Relationships between seed and berry development of *Vitis vinifera* L. cv. Shiraz: Developmental changes in seed morphology and phenolic composition. *Australian Journal of Grape and Wine Research*, 11(1), 43-58. <https://doi.org/10.1111/j.1755-0238.2005.tb00278.x>

- Roemmelt, S., Zimmermann, N., Rademacher, W., & Treutter, D. (2003). Formation of novel flavonoids in apple (*Malus × domestica*) treated with the 2-oxoglutarate-dependent dioxygenase inhibitor prohexadione-Ca. *Phytochemistry*, *64*(3), 709-716. [https://doi.org/10.1016/S0031-9422\(03\)00389-3](https://doi.org/10.1016/S0031-9422(03)00389-3)
- Rogiers, S. Y., Greer, D. H., Hatfield, J. M., Orchard, B. A., & Keller, M. (2006). Solute transport into Shiraz berries during development and late-ripening shrinkage. *American Journal of Enology and Viticulture*, *57*(1), 73-80.
- Rosenquist, J. K., & Morrison, J. C. (1989). Some factors affecting cuticle and wax accumulation on grape berries. *American Journal of Enology and Viticulture*, *40*(4), 241-244.
- Ruzin, S. E. (1999). *Plant microtechnique and microscopy*. Oxford University Press.
- Scholefield Robinson Horticultural Services & EconSearch. (2010). *Assessment of economic cost of endemic pests and diseases on the Australian grape and wine industry*. <https://www.wineaustralia.com/getmedia/3ca22df5-54be-4c82-a711-bcf8d00ed698/GWR-08-04>
- Schultz, H. R., & Jones, G. V. (2010). Climate induced historic and future changes in viticulture. *Journal of Wine Research*, *21*(2-3), 137-145. <https://doi.org/10.1080/09571264.2010.530098>
- Shen, F., Wu, W., Han, X., Wang, J., Li, Y., & Liu, D. (2021). Study on the occurrence law and green control of grape gray mold from the perspective of ecological balance. *Bioengineered*, *12*(1), 779-790. <https://doi.org/10.1080/21655979.2021.1888578>
- Smart, R. E. (1973). Sunlight interception by vineyards. *American Journal of Enology and Viticulture*, *24*(4), 141-147.
- Smart, R. E. (1985). Principles of grapevine canopy microclimate manipulation with implications for yield and quality: A review. *American Journal of Enology and Viticulture*, *36*(3), 230-239.

- Smart, R. E., & Robinson, J. B. (1991). *Sunlight into wine: A handbook for winegrape canopy management*. Winetitles.
- Spayd, S. E., Tarara, J. M., Mee, D. L., & Ferguson, J. C. (2002). Separation of sunlight and temperature effects on the composition of *Vitis vinifera* L. cv. Merlot berries. *American Journal of Enology and Viticulture*, 53(3), 171-182.
- Srinivasan, C., & Mullins, M. G. (1981). Physiology of flowering in the grapevine: A review. *American Journal of Enology and Viticulture*, 32(1), 47-63.
- Taiz, L., Zeiger, E., Møller, I. M., & Murphy, A. (Eds.). (2015). *Plant physiology and development* (6<sup>th</sup> ed.). Sinauer Associates.
- Tardáguila, J., & Bertamini, M. (1993). “Canopy management” o gestión del follaje: Una potente técnica para mejorar la producción y la calidad de la uva. *Viticultura Enología Profesional*, (28), 31-46.
- Tardáguila, J., Martínez de Toda, F., Poni, S., & Diago, M. P. (2010). Impact of early leaf removal on yield and fruit and wine composition of *Vitis vinifera* L. Graciano and Carignan. *American Journal of Enology and Viticulture*, 61(3), 372-381. <https://doi.org/10.5344/ajev.2010.61.3.372>
- Tecchio, M. A., da Silva, M. J. R., Sanchez, C. A. P. C., Callili, D., Vedoato, B. T. F., Hernandes, J. L., & Moura, M. F. (2022). Yield performance and quality of wine grapes (*Vitis vinifera* L.) grafted onto different rootstocks under subtropical conditions. *Bragantia*, 81, Artículo e1622. <https://doi.org/10.1590/1678-4499.20210214>
- Tello, J., & Ibáñez, J. (2018). What do we know about grapevine bunch compactness? A state-of-the-art review. *Australian Journal of Grape and Wine Research*, 24(1), 6-23. <https://doi.org/10.1111/ajgw.12310>
- Thomas, C. S., Marois, J. J., & English, J. T. (1988). The effects of wind speed, temperature, and relative humidity on development of aerial mycelium and conidia of *Botrytis cinerea* on grape. *Phytopathology*, 78(3), 260-265. <https://doi.org/10.1094/Phyto-78-260>

- Tilbrook, J., & Tyerman, S. D. (2008). Cell death in grape berries: Varietal differences linked to xylem pressure and berry weight loss. *Functional Plant Biology*, 35(3), 173-184. <https://doi.org/10.1071/FP07278>
- Tyerman, S. D., Tilbrook, J., Pardo, C., Kotula, L., Sullivan, W., & Steudle, E. (2004). Direct measurement of hydraulic properties in developing berries of *Vitis vinifera* L. cv. Shiraz and Chardonnay. *Australian Journal of Grape and Wine Research*, 10(3), 170-181. <https://doi.org/10.1111/j.1755-0238.2004.tb00020.x>
- VanderWeide, J., Gottschalk, C., Schultze, S. R., Nasrollahiazar, E., Poni, S., & Sabbatini, P. (2021). Impacts of pre-bloom leaf removal on wine grape production and quality parameters: A systematic review and meta-analysis. *Frontiers in Plant Science*, 11, Artículo e621585. <https://doi.org/10.3389/fpls.2020.621585>
- Vaquero-Fernández, L., Fernández-Zurbano, P., Sanz-Asensio, J., López-Alonso, M., & Martínez-Soria, M. T. (2009). Treatment of grapevines with prohexadione-calcium as a growth regulator. The influence on production, winemaking and sensory characteristics of wines. *OENO One*, 43(3), 149-157.
- Verdenal, T., Zufferey, V., Dienes-Nagy, A., Gindro, K., Belcher, S., Lorenzini, F., Rösti, J., Koestel, C., Spring, J. L., & Viret, O. (2017). Pre-flowering defoliation affects berry structure and enhances wine sensory parameters. *OENO One*, 51(3), 263-275. <https://doi.org/10.20870/oeno-one.2017.51.2.1808>
- Verdenal, T., Zufferey, V., Spring, J. L., & Viret, O. (2013). Conséquences physiologiques de l'effeuillage de la vigne: Revue de littérature. *Revue Suisse de Viticulture, Arboriculture et Horticulture*, 45(3), 148-155.
- Viñals Capell, J. M. (1954). Estudio de la acidez en el vino. *Anales de la Escuela de Peritos Agrícolas y de Especialidades Agropecuarias y de los Servicios Técnicos de Agricultura*, 13, 119-232. <https://hdl.handle.net/2099/11083>
- Williamson, B., Tudzynski, B., Tudzynski, P., & Van Kan, J. A. L. (2007). *Botrytis cinerea*: The cause of grey mould disease. *Molecular Plant Pathology*, 8(5), 561-580. <https://doi.org/10.1111/j.1364-3703.2007.00417.x>

Winkler, A. J., Cook, J. A., Kliewer, W. M., & Lider, L. A. (1974). *General viticulture*. University of California Press.

Yamaguchi, S. (2008). Gibberellin metabolism and its regulation. *Annual Review of Plant Biology*, 59, 225-251.

<https://doi.org/10.1146/annurev.arplant.59.032607.092804>

Zenoni, S., Dal Santo, S., Tornielli, G. B., D'Inca, E., Filippetti, I., Pastore, C., Allegro, G., Silvestroni, O., Lanari, V., Pisciotta, A., Di Lorenzo, R., Palliotti, A., Tombesi, S., Gatti, M., & Poni, S. (2017). Transcriptional responses to pre-flowering leaf defoliation in grapevine berry from different growing sites, years, and genotypes. *Frontiers in Plant Science*, 8, Artículo e630.

<https://doi.org/10.3389/fpls.2017.00630>

8. ANEXOS

## ANEXO A

## TABLAS COMPLETAS DE LOS EFECTOS DE LOS TRATAMIENTOS SOBRE PARÁMETROS VEGETATIVOS

**Tabla A1***Superficie foliar expuesta potencial*

<b>VARIEDAD</b>	<b>TRATAMIENTO</b>	<b>SFE<sub>p</sub> (m<sup>2</sup>/ha)</b>	
<i>Syrah</i>	TC	4.666	a
<i>Syrah</i>	DPF	5.067	a
<i>Syrah</i>	PCa	4.223	a
<i>Tannat</i>	TC	3.183	a
<i>Tannat</i>	DPF	2.615	a

*Nota.* Medias con una letra común en una misma variedad no son significativamente diferentes (Fisher  $\alpha=0,05$ ). Comparación entre tratamientos por cada variedad.

**Tabla A2***Número de capas de hojas de la canopia*

<b>VARIEDAD</b>	<b>TRATAMIENTO</b>	<b>Nº</b>	<b>DE</b>
<b>HOJAS</b>			
<i>Syrah</i>	TC	1,8	b
<i>Syrah</i>	DPF	1,3	a
<i>Syrah</i>	PCa	1,4	a
<i>Tannat</i>	TC	2,0	a
<i>Tannat</i>	DPF	1,7	a

*Nota.* Medias con una letra común en una misma variedad no son significativamente diferentes (Fisher  $\alpha=0,05$ ). Comparación entre tratamientos por cada variedad.

**Tabla A3***Porcentaje de racimos expuestos*

<b>VARIEDAD</b>	<b>TRATAMIENTO</b>	<b>%RACIMOS</b>	
<b>EXPUESTOS</b>			
<i>Syrah</i>	TC	70,3	a
<i>Syrah</i>	DPF	88,9	a
<i>Syrah</i>	PCa	85,3	a
<i>Tannat</i>	TC	75,9	a
<i>Tannat</i>	DPF	94,3	a

*Nota.* Medias con una letra común en una misma variedad no son significativamente diferentes (Fisher  $\alpha=0,05$ ). Comparación entre tratamientos por cada variedad.

## ANEXO B

## TABLAS COMPLETAS DEL IMPACTO DE LOS TRATAMIENTOS EN PARÁMETROS VINCULADOS AL RENDIMIENTO PRODUCTIVO

**Tabla B1***Número de racimos por planta*

VARIEDAD	TRATAMIENTO	NÚMERO DE RACIMOS	DE
<i>Syrah</i>	TC	15,7	a
<i>Syrah</i>	DPF	13,3	a
<i>Syrah</i>	PCA	16,6	a
<i>Tannat</i>	TC	5,9	a
<i>Tannat</i>	DPF	7,0	a

*Nota.* Medias con una letra común en una misma variedad no son significativamente diferentes (DGC  $\alpha=0,05$ ). Comparación entre tratamientos por cada variedad.

**Tabla B2***Peso promedio de racimo*

VARIEDAD	TRATAMIENTO	PESO PROMEDIO DE RACIMO (g)	DE
<i>Syrah</i>	TC	171,6	a
<i>Syrah</i>	DPF	167,7	a
<i>Syrah</i>	PCA	154,5	a
<i>Tannat</i>	TC	193,9	a
<i>Tannat</i>	DPF	128,9	a

*Nota.* Medias con una letra común en una misma variedad no son significativamente diferentes (DGC  $\alpha=0,05$ ). Comparación entre tratamientos por cada variedad.

**Tabla B3***Rendimiento promedio por planta*

VARIEDAD	TRATAMIENTO	PESO (g)	DE
<i>Syrah</i>	TC	2.739,4	a
<i>Syrah</i>	DPF	2.241,5	a
<i>Syrah</i>	PCA	2.664,0	a
<i>Tannat</i>	TC	955,0	a
<i>Tannat</i>	DPF	767,8	a

*Nota.* Medias con una letra común en una misma variedad no son significativamente diferentes (DGC  $\alpha=0,05$ ). Comparación entre tratamientos por cada variedad.

**Tabla B4***Peso de la baya en cosecha*

<b>VARIEDAD</b>	<b>TRATAMIENTO</b>	<b>PESO (g)</b>
<i>Syrah</i>	TC	1,63 a
<i>Syrah</i>	DPF	1,47 ab
<i>Syrah</i>	PCa	1,17 b
<i>Tannat</i>	TC	2,00 a
<i>Tannat</i>	DPF	1,81 a

*Nota.* Medias con una letra común en una misma variedad no son significativamente diferentes (Tukey  $\alpha=0,05$ ). Comparación entre tratamientos por cada variedad.

## ANEXO C

## TABLAS COMPLETAS DE LA RESPUESTA FISIOLÓGICA Y COMPOSICIÓN DE LA BAYA FRENTE A LOS TRATAMIENTOS APLICADOS

**Tabla C1***Evolución del índice de compacidad de racimos (IC) en Syrah y Tannat*

VARIEDAD	TRATAMIENTO	17/1/2018	28/2/2018
<i>Syrah</i>	DPF	3,28 a	3,61 a
	PCa	3,33 a	3,56 a
	TC	3,22 a	3,56 a
<i>Tannat</i>	DPF	2,83 a	3,06 a
	TC	3,11 a	3,33 a

*Nota.* Medias con una letra común no son significativamente diferentes (LSD Fisher  $\alpha=0,05$ ). Comparación entre tratamientos por cada variedad. Mayor valor de IC indica mayor compacidad de racimo (escala de 1 a 5).

**Tabla C2***Evolución del peso (g) de 50 bayas*

VARIEDAD	TRATAMIENTO	PESO ENVERO (g)	PESO COSECHA (g)
<i>Tannat</i>	TC	76,2	95,4
<i>Tannat</i>	DPF	68	104,3
<i>Syrah</i>	TC	64,8	106,4
<i>Syrah</i>	DPF	61,5	78,1
<i>Syrah</i>	PCa	59,5	68,6

**Tabla C3***Evolución Sólidos solubles en Syrah y Tannat*

VARIEDAD	TRATAMIENTO	34 EyL (°Brix)	36 EyL (°Brix)	37 EyL (°Brix)	38 EyL (°Brix)
<i>Syrah</i>	DPF	11,2	15,7	21,4	21,5
<i>Syrah</i>	PCa	11,6	15,4	21,0	21,1
<i>Syrah</i>	TC	11,7	15,6	20,5	20,7
<i>Tannat</i>	DPF	14,3	19,6	25,6	26,6
<i>Tannat</i>	TC	14,1	19,0	25,8	25,8

**Tabla C4***Evolución Acidez total en Syrah y Tannat*

<b>VARIEDAD</b>	<b>TRATAMIENTO</b>	<b>34 E y L</b>	<b>36 E y L</b>	<b>37 E y L</b>	<b>38 E y L</b>
<i>Syrah</i>	DPF	8,8	5,8	3,3	2,9
<i>Syrah</i>	PCa	9,2	5,0	3,4	3,0
<i>Syrah</i>	TC	8,7	5,8	3,3	3,0
<i>Tannat</i>	DPF	11,1	6,6	3,7	3,3
<i>Tannat</i>	TC	11,0	5,3	3,4	3,0

**Tabla C5***Evolución de pH en Syrah y Tannat*

<b>VARIEDAD</b>	<b>TRATAMIENTO</b>	<b>34 EyL</b>	<b>36EyL</b>	<b>37 EyL</b>	<b>38 EyL</b>
<i>Syrah</i>	TC	3,0	2,9	3,0	3,3
<i>Syrah</i>	DPF	2,9	2,9	3,0	3,5
<i>Syrah</i>	PCa	2,9	2,9	2,9	3,4
<i>Tannat</i>	TC	2,8	2,8	2,8	3,2
<i>Tannat</i>	DPF	2,7	2,8	2,7	3,2

**Tabla C6***Composición fenólica a cosecha: ApH1, ApH3,2 e IPT a cosecha*

<b>VARIEDAD</b>	<b>TRATAMIENTO</b>	<b>PROMEDIO DE TODAS LAS REPETICIONES</b>					
		<b>A pH1 (mg/L)</b>		<b>A pH3.2 (mg/L)</b>		<b>IPT</b>	
<i>Tannat</i>	TC	1938	a	1001	b	67	b
<i>Tannat</i>	DPF	2096	a	1107	a	82	a
<i>Syrah</i>	TC	1345	a	700	a	37	a
<i>Syrah</i>	DPF	1332	a	748	a	46	b
<i>Syrah</i>	PCa	1344	a	736	a	48	b

*Nota.* Medias con una letra común en una misma variedad no son significativamente diferentes (Tukey  $\alpha=0,05$ ). Comparación entre tratamientos por cada variedad.

**Tabla C7**  
*Componentes de la baya*

V A R I E D A D	TR AT AM IEN TO	RE PE TI CI ÓN	PESO FRES CO 50 BAYA S (g)	N° SE MI LL AS	PES O SEM ILL AS (g)	PES O SEM ILL AS (%)	PES O HOL LEJ OS (g)	PES O HOL LEJ OS (%)	PES O PU LP AS (g)	PES O PUL PAS (%)	HO LLE JO/ PUL PA
<i>Ta nn at</i>	TC	1	92,5	97	3	3,2	18,4	19,9	71,1	76,9	0,26
<i>Ta nn at</i>	TC	2	94	113	3,7	3,9	12,9	13,7	77,4	82,3	0,17
<i>Ta nn at</i>	TC	3	99,7	136	4	4,0	16,7	16,8	79	79,2	0,21
<i>Ta nn at</i>	DP F	1	99,6	119	3,2	3,2	8,7	8,7	87,7	88,1	0,10
<i>Ta nn at</i>	DP F	2	121,8	117	3,6	3,0	15,9	13,1	101, 5	83,3	0,16
<i>Ta nn at</i>	DP F	3	91,4	120	3,5	3,8	9,8	10,7	78,1	85,4	0,13
<i>Sy ra h</i>	TC	1	102,2	101	2,3	2,3	10,4	10,2	89,5	87,6	0,12
<i>Sy ra h</i>	TC	2	125,6	116	3,5	2,8	14,6	11,6	106, 9	85,1	0,14
<i>Sy ra h</i>	TC	3	91,3	97	2,0	2,2	4,7	5,1	84,6	92,7	0,06
<i>Sy ra h</i>	DP F	1	72,9	96	1,8	2,5	4,5	6,2	66,6	91,4	0,07
<i>Sy ra h</i>	DP F	2	87,9	90	2,2	2,5	4,5	5,1	81,2	92,4	0,06
<i>Sy ra h</i>	DP F	3	73,5	85	2,0	2,7	5,1	6,9	66,4	90,3	0,08
<i>Sy ra h</i>	PCa	1	55	78	1,4	2,5	3,2	5,8	50,4	91,6	0,06



## ANEXO D

## TABLAS COMPLETAS DE LOS EFECTOS DE LOS TRATAMIENTOS EN LA COMPOSICIÓN HISTOLÓGICA DE LAS BAYAS

**Tabla D1***Número de capas del hollejo*

VARIEDAD	TRATAMIENTO	NÚMERO DE CAPAS DEL HOLLEJO	DE
<i>Tannat</i>	TC	9,19	a
<i>Tannat</i>	DPF	8,31	b
<i>Syrah</i>	TC	7,5	a
<i>Syrah</i>	DPF	7,83	ab
<i>Syrah</i>	PCa	8,33	b

*Nota.* Medias con una letra común en una misma variedad no son significativamente diferentes (LSD Fisher  $\alpha=0,05$ ). Comparación entre tratamientos por cada variedad.

**Tabla D2***Espesor de la cutícula*

VARIEDAD	TRATAMIENTO	ESPEJOR DE CUTÍCULA ( $\mu\text{M}$ )	DE
<i>Tannat</i>	TC	4,90	a
<i>Tannat</i>	DPF	4,74	a
<i>Syrah</i>	TC	4,41	a
<i>Syrah</i>	DPF	3,90	a
<i>Syrah</i>	PCa	6,01	a

*Nota.* Medias con una letra común en una misma variedad no son significativamente diferentes (LSD Fisher  $\alpha=0,05$ ). Comparación entre tratamientos por cada variedad.

**Tabla D3***Espesor de la epidermis*

VARIEDAD	TRATAMIENTO	ESPEJOR DE EPIDERMIS ( $\mu\text{M}$ )	DE
<i>Tannat</i>	TC	51,85	a
<i>Tannat</i>	DPF	46,93	a
<i>Syrah</i>	TC	30,74	a
<i>Syrah</i>	DPF	31,21	a
<i>Syrah</i>	PCa	40,43	a

*Nota.* Medias con una letra común en una misma variedad no son significativamente diferentes (LSD Fisher  $\alpha=0,05$ ). Comparación entre tratamientos por cada variedad.

**Tabla D4***Espesor de la hipodermis*

<b>VARIEDAD</b>	<b>TRATAMIENTO</b>	<b>ESPEJOR HIPODERMIS (<math>\mu\text{M}</math>)</b>	
<i>Tannat</i>	TC	199,61	a
<i>Tannat</i>	DPF	177,51	a
<i>Syrah</i>	TC	239,49	a
<i>Syrah</i>	DPF	204,45	a
<i>Syrah</i>	PCa	195,47	a

*Nota.* Medias con una letra común en una misma variedad no son significativamente diferentes (LSD Fisher  $\alpha=0,05$ ). Comparación entre tratamientos por cada variedad.

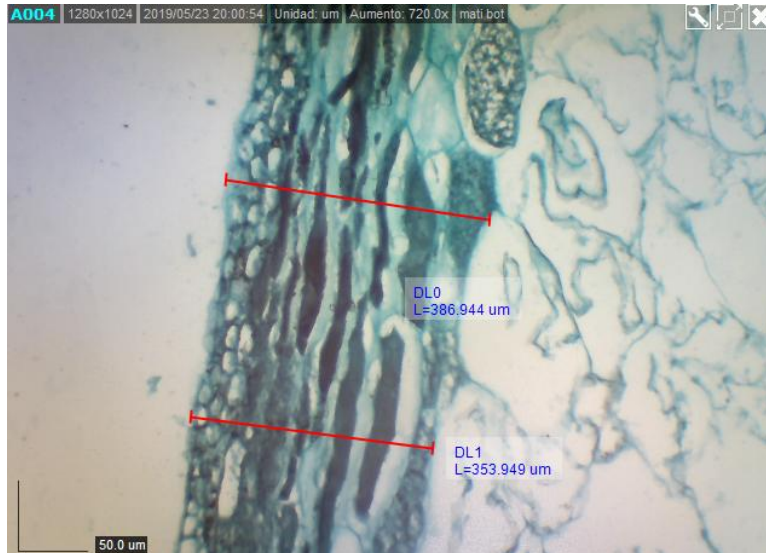
**Tabla D5***Espesor total de epicarpo*

<b>VARIEDAD</b>	<b>TRATAMIENTO</b>	<b>ESPEJOR EPICARPO (<math>\mu\text{M}</math>)</b>	<b>TOTAL</b>
<i>Tannat</i>	TC	244,36	a
<i>Tannat</i>	DPF	229,37	a
<i>Syrah</i>	TC	270,23	a
<i>Syrah</i>	DPF	235,65	a
<i>Syrah</i>	PCa	235,90	a

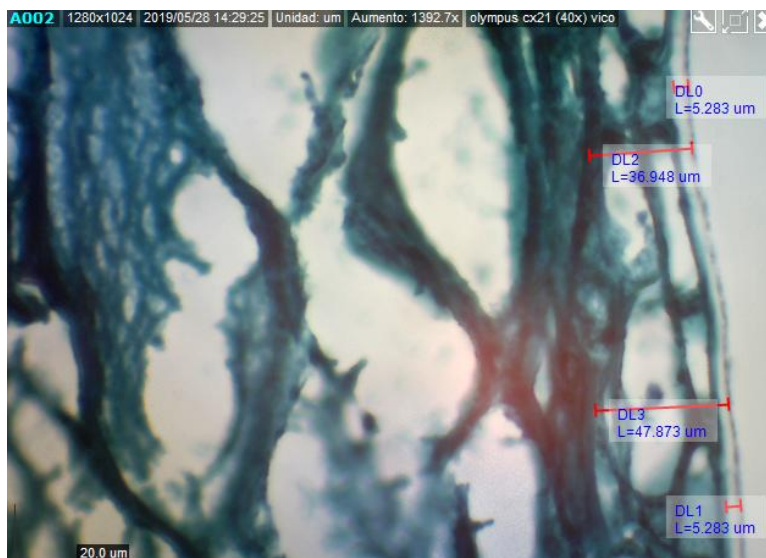
*Nota.* Medias con una letra común en una misma variedad no son significativamente diferentes (LSD Fisher  $\alpha=0,05$ ). Comparación entre tratamientos por cada variedad.

## ANEXO E

## FIGURAS COMPLEMENTARIAS DEL ANÁLISIS HISTOLÓGICO

**Figura E1***Corte histológico de una baya de Syrah*

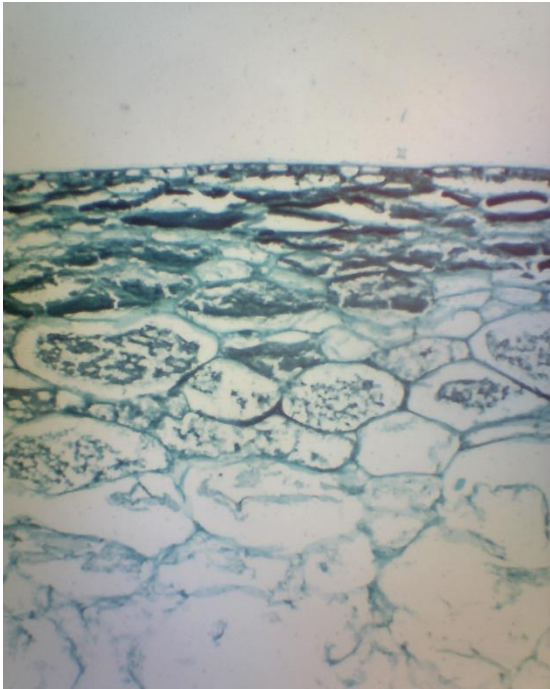
*Nota.* Se observan mediciones con valores correspondientes al espesor total del epicarpo ( $\mu\text{M}$ ). Baya correspondiente a un racimo de la planta n° 7, repetición 3 del tratamiento PCa.

**Figura E2***Corte histológico de una baya de Tannat*

*Nota.* Se observan mediciones correspondientes al espesor de la cutícula más el espesor de epidermis ( $\mu\text{M}$ ). Baya correspondiente a un racimo de la zona interior de la planta n° 6, repetición 1 del tratamiento TC.

**Figura E3**

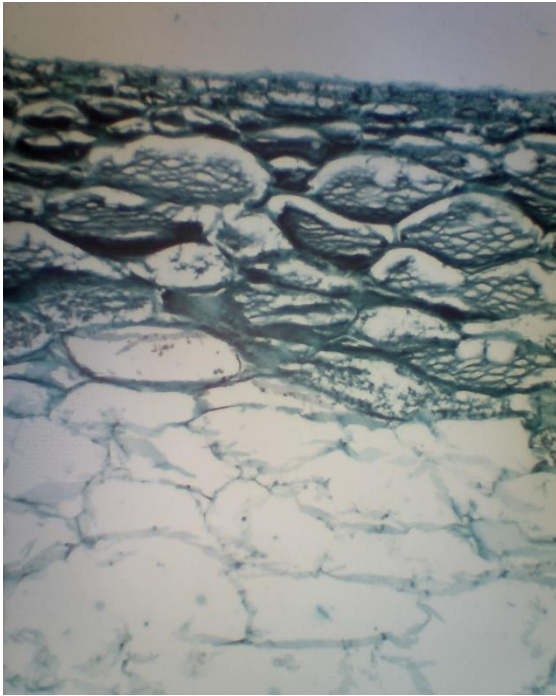
*Corte histológico de una baya de Syrah*



*Nota.* Se distingue la epidermis y varias capas de la hipodermis seguidas del mesocarpo. Las células hipodérmicas presentan vacuolas con contenido granular asociado a la acumulación de antocianinas. Baya correspondiente a un racimo de la planta nº 7, repetición 2 del tratamiento TC.

**Figura E4**

*Corte histológico de una baya de Tannat*



*Nota.* La capa externa presenta células más pequeñas, elongadas tangencialmente y densamente organizadas correspondientes a la epidermis. Por debajo, se encuentran células hipodérmicas de mayor tamaño con forma irregular y con una alta acumulación de antocianos. Finalmente, la capa más interior corresponde al mesocarpo donde se observan células parenquimáticas de mayor tamaño con amplias vacuolas y paredes delgadas, características del tejido de pulpa. Baya correspondiente a un racimo de la zona interior de la planta nº 6, repetición 1 del tratamiento DPF.