

UNIVERSIDAD DE LA REPÚBLICA

FACULTAD DE AGRONOMÍA

**ALTERNATIVAS VITÍCOLAS Y ENOLÓGICAS PARA LA REDUCCIÓN DEL
CONTENIDO DE ALCOHOL Y PH EN LOS VINOS TINTOS TANNAT**

por

Yamila CELIO ACKERMANN

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

MONTEVIDEO

URUGUAY

2025

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



Página de aprobación

Trabajo final de grado aprobado por:

Director/a:

Ing. Agr. (Dr.) Diego Piccardo

Co-Director/a:

Ing. Agr. (Dr.) Mercedes Fourment

Tribunal:

Ing. Agr. (Mag.) Julia Salvarrey

Ing. Agr. (Dr.) Guzmán Favre

Ing. Agr. (Dr.) Diego Piccardo

Fecha:

21 de noviembre de 2025

Estudiante:

Yamila Celio Ackermann

Agradecimientos

En primer lugar, quiero agradecer a mi tutor, Diego Piccardo, y a mi cotutora, Mercedes Fourment, por su compromiso, guía y paciencia a lo largo de todo este proceso. Sus aportes y conocimientos fueron fundamentales para la realización de este trabajo.

A todo el equipo del área de Enología de la Facultad de Agronomía, gracias por abrirme las puertas, por compartir su conocimiento, su tiempo y dedicación, y por estar siempre dispuestos a brindar su ayuda.

A Facultad de Agronomía, por brindarme la posibilidad de formarme en esta carrera y por todos los recursos puestos a disposición a lo largo de estos años.

A mi familia, gracias por estar siempre, por escucharme y ser un sostén incondicional a lo largo de este camino de aprendizaje.

A mis abuelos, quienes me conectaron con la tierra y dejaron una huella profunda en mi vida.

A Rosa y Ángela, que me acompañaron con ternura en este camino. Hoy ya no están pero su presencia sigue viva en mi corazón.

Tabla de contenido

Página de aprobación	3
Agradecimientos	4
Lista de tablas y figuras	7
Resumen	9
Abstract	10
1. Introducción	11
1.1. Vitivinicultura en Uruguay	11
1.2. Desafíos climáticos y consecuencias en la composición de la uva y el vino .	12
1.3. Prácticas agronómicas y enológicas para mitigar la variabilidad climática	16
1.4. Hipótesis.....	18
1.5. Objetivo general y específicos	18
2. Materiales y Métodos	20
2.1. Sitio experimental y material vegetal.....	20
2.2. Caracterización de las condiciones climáticas	21
2.3. Diseño experimental en el viñedo	21
2.4. Variables vitícolas estudiadas.....	22
2.4.1. <i>Composición y estructura de la canopia: medición de la superficie foliar...</i>	22
2.4.2. <i>Componentes del rendimiento.....</i>	23
2.4.3. <i>Análisis de la composición de la uva</i>	23
2.5. Cosecha, vinificaciones y diseño experimental	25
2.6. Análisis de mostos y vinos	27
2.6.1. <i>Seguimiento de fermentación.....</i>	27
2.6.2. <i>Análisis fisicoquímicos</i>	27
2.7. Evaluación sensorial de los vinos	28
2.8. Procesamiento de los datos y análisis estadístico	28
3. Resultados y Discusión	29

3.1.	Caracterización de las condiciones climáticas	29
3.2.	Composición y estructura de la canopia: medición de la superficie foliar	30
3.3.	Componentes del rendimiento	33
3.4.	Evolución de la composición de la uva	35
3.5.	Composición de la uva en cosecha.....	39
3.6.	Composición de los mostos	42
3.6.1.	<i>Mosto y vino de uva inmadura previo a la sustitución</i>	42
3.6.2.	<i>Composición de los mostos luego de la sustitución</i>	47
3.6.3.	<i>Seguimiento de fermentación</i>	48
3.7.	Composición de los vinos	60
3.7.1.	<i>Composición básica de los vinos</i>	60
3.7.2.	<i>Composición fenólica de los vinos</i>	63
3.7.3.	<i>Color de los vinos</i>	68
3.8.	Evaluación sensorial de los vinos	73
4.	Conclusiones.....	76
5.	Bibliografía	78
6.	Anexos	91

Lista de tablas y figuras

Tabla 1 Superficie foliar mediante el programa VitiCanopy.....	32
Tabla 2 Rendimiento, número y peso de racimos contabilizados en cosecha para los dos tratamientos en evaluación.....	34
Tabla 3 Composición primaria de la uva en cosecha según tratamiento.....	40
Tabla 4 Composición fenólica de la uva en cosecha según tratamiento	41
Tabla 5 Parámetros cromáticos del mosto de uva en cosecha	41
Tabla 6 Composición básica, fenólica y cromática del mosto y vino provenientes de uva inmadura	46
Tabla 7 Composición básica de los mostos luego de realizada la sustitución	47
Tabla 8 Composición básica de los vinos correspondientes a los cuatro tratamientos evaluados	62
Tabla 9 Parámetros cromáticos de los vinos elaborados	70

Figura 1 Ubicación del predio bajo estudio (izquierda) y ubicación del viñedo y localidades cercanas (derecha)	20
Figura 2 Sistema de conducción del viñedo de Tannat / 101.14 MGt bajo estudio	21
Figura 3 Diseño experimental de los tratamientos en viñedo	22
Figura 4 Imágenes tomadas de las plantas para la medición de la superficie foliar	23
Figura 5 Diseño experimental de las vinificaciones	26
Figura 6 Precipitación efectiva, temperatura media, máxima y mínima mensuales durante la temporada 2024-2025	29
Figura 7 Aplicación de la técnica de deshoje pre apical: comparación antes y después del tratamiento	31
Figura 8 Superficie foliar según la metodología propuesta por Carbonneau.....	32
Figura 9 Peso de racimos sanos y enfermos de los tratamientos testigo y deshoje pre apical	34
Figura 10 Podredumbre Gris en bayas de plantas analizadas	35
Figura 11 Evolución del peso de baya durante la maduración de la uva	35
Figura 12 Evolución de los azúcares (g/L) durante la maduración de la uva	36

Figura 13 Evolución de los azúcares (g/baya) durante la maduración de la uva	37
Figura 14 Evolución del pH durante la maduración de la uva	38
Figura 15 Evolución de la acidez total durante la maduración de la uva.....	38
Figura 16 Coordenadas CIELab de la uva en cosecha	42
Figura 17 Seguimiento de la densidad del mosto proveniente de uva inmadura durante la fermentación alcohólica.....	43
Figura 18 Seguimiento de la temperatura del mosto proveniente de uva inmadura durante la fermentación alcohólica.....	44
Figura 19 Mosto y vino proveniente de uva inmadura	47
Figura 20 Seguimiento de la densidad durante la fermentación alcohólica de los vinos	49
Figura 21 Seguimiento de la temperatura durante la fermentación alcohólica de los vinos	50
Figura 22 Seguimiento del contenido de antocianos durante la fermentación alcohólica de los vinos.....	51
Figura 23 Índice de polifenoles totales durante la fermentación alcohólica de los vinos	53
Figura 24 Intensidad colorante durante la fermentación alcohólica de los vinos.....	54
Figura 25 Luminosidad (L^*) durante la fermentación alcohólica de los vinos.....	55
Figura 26 Cromaticidad (C^*) durante la fermentación alcohólica de los vinos	56
Figura 27 Tono (H^*) durante la fermentación alcohólica de los vinos	57
Figura 28 Evolución de a^* durante la fermentación alcohólica de los vinos	58
Figura 29 Evolución de b^* durante la fermentación alcohólica de los vinos	59
Figura 30 Contenido de polifenoles totales en los vinos de los tratamientos evaluados	63
Figura 31 Índice de polifenoles totales en los vinos de los tratamientos evaluados	64
Figura 32 Contenido de antocianos en los vinos de los tratamientos evaluados	65
Figura 33 Contenido de taninos en los vinos de los tratamientos evaluados	66
Figura 34 Coordenadas CIELab de los vinos	71
Figura 35 Análisis sensorial de los vinos.....	74

Resumen

Uruguay se caracteriza por una alta variabilidad climática interanual, expresada en fluctuaciones de temperatura y precipitaciones que impactan directamente en el desarrollo del viñedo y la maduración de la uva. Altas temperaturas y períodos de sequía han acelerado los procesos de maduración, generando vinos con mayor contenido de alcohol y pH, pero con perfiles fenólicos y aromáticos incompletos. Esta situación obliga a extender el período, dificultando la determinación del momento óptimo de cosecha. El objetivo de esta investigación fue evaluar el impacto del deshoje pre apical y de la sustitución parcial de mosto maduro por mosto o vino de uvas inmaduras en la reducción del contenido de alcohol y pH del vino tinto Tannat, sin modificar su composición fenólica y color. El estudio se realizó durante la vendimia 2025, en un viñedo comercial del sur de Uruguay. Se trabajó con seis grupos de diez plantas, tres de los cuales recibieron deshoje pre apical al inicio del envero (E-L 36), mediante la remoción manual de hojas en los siete nudos superiores al segundo racimo, mientras que los otros tres grupos se dejaron como testigo sin deshojar. Se evaluó la estructura de la canopia, el rendimiento y la evolución de la composición de la uva hasta la cosecha. Se elaboraron vinos por triplicado para los siguientes tratamientos: VT (testigo, vinificación tradicional), VD (deshoje pre apical), VSM (sustitución del 20% de mosto maduro por mosto de uva inmadura) y VSV (sustitución del 20% de mosto maduro por vino de uva inmadura). A cada vino se le determinaron parámetros fisicoquímicos, composición fenólica, color y características sensoriales mediante un panel de degustadores. Los resultados mostraron que el deshoje pre apical redujo la superficie foliar sin afectar el rendimiento. Esta técnica influyó en la acumulación de azúcares en las bayas, permitiendo la elaboración de vinos con menor contenido de alcohol. Las diferencias más relevantes en la composición fenólica se observaron en los vinos, con reducciones superiores al 15% respecto al VT, afectando también el color. Los tratamientos VSM y VSV lograron reducir el contenido de alcohol y pH. Las variaciones en la composición fenólica no superaron el 10 % respecto al testigo. No se encontraron diferencias sensoriales entre los vinos, excepto en el aspecto visual. Los degustadores mostraron una mayor preferencia por los vinos provenientes del tratamiento VD y VSV. En conclusión, tanto las estrategias vitícolas como las enológicas evaluadas representan alternativas viables para la producción de vinos con menor contenido de alcohol. El impacto sobre el color y la composición fenólica dependerá de las condiciones climáticas de cada vendimia, por lo que su aplicación debe adaptarse al contexto agroclimático de cada año.

Palabras clave: cambio climático, Tannat, manejo de la canopia, reducción de azúcares, sustitución de mosto

Abstract

Uruguay is characterized by high interannual climate variability, expressed in fluctuations in temperature and rainfall that directly impact vineyard development and grape ripening. High temperatures and periods of drought have accelerated ripening processes, producing wines with higher alcohol content and pH, but with incomplete phenolic and aromatic profiles. This situation forces the period to be extended, making it difficult to determine the optimal time for harvesting. The objective of this research was to evaluate the impact of pre apical leaf removal and the partial replacement of ripe must with must or wine from unripe grapes on reducing the alcohol content and pH of Tannat red wine, without modifying its phenolic composition and colour. The study was conducted during the 2025 harvest in a commercial vineyard in southern Uruguay. Six groups of ten plants were studied, three of which underwent pre-apical leaf removal at the beginning of veraison (E-L 36) by manually removing leaves from the seven nodes above the second cluster, while the other three groups were left as controls without leaf removal. The canopy structure, yield and evolution of grape composition were evaluated until harvest. Wines were produced in triplicate for the following treatments: VT (control, traditional vinification), VD (pre apical leaf removal), VSM (replacement of 20% of ripe must with unripe grape must) and VSV (replacement of 20% of ripe must with unripe grape wine). The physicochemical parameters, phenolic composition, colour and sensory characteristics of each wine were determined by a panel of tasters. The results showed that pre apical leaf removal reduced the leaf area without affecting yield. This technique influenced the accumulation of sugars in the berries, allowing the production of wines with lower alcohol content. The most relevant differences in phenolic composition were observed in the wines, with reductions of more than 15% compared to VT, also affecting colour. The VSM and VSV treatments succeeded in reducing alcohol content and pH. The variations in phenolic composition did not exceed 10% compared to the control. No sensory differences were found between the wines, except in terms of appearance. The tasters showed a greater preference for wines from the VD and VSV treatments. In conclusion, both the viticultural and oenological strategies evaluated represent viable alternatives to produce wines with lower alcohol content. The impact on colour and phenolic composition will depend on the climatic conditions of each harvest, so their application must be adapted to the agroclimatic context of each year.

Keywords: climate change, Tannat, canopy management, sugar reduction, must substitution

1. Introducción

1.1. Vitivinicultura en Uruguay

La industria vitivinícola uruguaya tiene una historia de más de 250 años, y fue en la segunda mitad del siglo XIX cuando comenzó a desarrollarse con fines comerciales. Actualmente, la viticultura nacional se concentra principalmente en la región sur del país, abarcando los departamentos de Canelones, Montevideo, Colonia, Maldonado y San José, que representan el 64,8 %, 15,7 %, 7,1 %, 4 % y 3 % de la superficie total cultivada, respectivamente. El país cuenta con 1.077 viñedos registrados, distribuidos en 5.857 hectáreas cultivadas. El 78 % de esta superficie corresponde a variedades tintas y el 22 % a blancas, gestionadas por 766 viticultores y 207 bodegas. La variedad Tannat, reconocida como la cepa insignia de Uruguay, representa el 26,5 % de la superficie cultivada, y es el país con mayor superficie de Tannat del mundo. En 2024, se produjeron 92.976.613 kg de uva, y se elaboraron 66,74 millones de litros de vino, de los cuales el 87 % fue destinado al consumo interno (Instituto Nacional de Vitivinicultura [INAVI], 2024).

La vitivinicultura constituye un sector fundamental para la economía uruguaya, aportando de manera significativa a la generación de empleo, al desarrollo rural y a las exportaciones. Estas últimas han mostrado un crecimiento constante en los últimos años, lo que ha permitido posicionar a Uruguay como un referente en mercados internacionales como Estados Unidos, Brasil y la Unión Europea. Esta dinámica impulsa la innovación tecnológica y la implementación de prácticas sostenibles, factores esenciales para enfrentar los desafíos que impone el cambio climático (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura [FAO], 2024).

La vitivinicultura uruguaya ha logrado mantenerse en el tiempo a través de una constante búsqueda por mejorar la calidad y la competitividad de sus productos. Uno de los avances más significativos en este sentido fue la reconversión vitícola de la década de los 90, impulsada por INAVI, que implicó la implantación de viñedos con variedades de *Vitis vinifera* injertadas, caracterizadas por una mejor sanidad, rendimiento y calidad enológica. En esta nueva etapa de desarrollo del sector, la variedad Tannat adquirió una posición destacada debido a su excelente adaptación a las condiciones agroecológicas del país (Ferrer, 2007). Actualmente, es reconocida como la cepa más representativa de la vitivinicultura nacional. Se trata de una variedad de alta productividad, con rendimientos del orden de 16.351 kg/ha (INAVI, 2024). Es vigorosa y presenta un ciclo de desarrollo de duración intermedia, alcanzando su madurez tecnológica a comienzos de marzo en el sur de Uruguay (Ferrer et al., 2020; Fourment et al., 2013). En su

madurez tecnológica, Tannat se caracteriza por producir uvas con una alta concentración de azúcares y una acidez total elevada, así como por su elevado potencial de síntesis de antocianos y taninos, cualidades que permiten elaborar vinos con gran estructura y color (Alcalde-Eon et al., 2006; Boido et al., 2006; González-Neves et al., 2012; González-Neves, Barreiro et al., 2004; González-Neves, Charamelo et al., 2004). Asimismo, el sector ha comenzado a explorar el potencial de otras variedades, como Albariño y Marselan, que han mostrado una buena adaptación a las condiciones agroclimáticas locales, abriendo nuevas posibilidades para la diversificación y diferenciación de la producción vitivinícola nacional (Favre, 2019; Ferrer et al., 2020; Fourment et al., 2024).

1.2. Desafíos climáticos y consecuencias en la composición de la uva y el vino

El cambio climático representa un desafío para la viticultura global. Se estima que la temperatura media mundial podría aumentar entre 1,5 °C y 2 °C hacia mediados del siglo XXI bajo escenarios de emisiones moderadas (Intergovernmental Panel on Climate Change [IPCC], 2023). En regiones productoras, se observan incrementos estimados de entre 1 y 2 °C en la temperatura durante la temporada de cultivo, lo que acelera la maduración y reduce la calidad del fruto (Jones & Webb, 2010). En el Cono Sur, incluyendo Uruguay, se espera además una mayor frecuencia e intensidad de eventos extremos como olas de calor o precipitaciones intensas, lo que puede alterar la fenología de la vid y afectar su calidad final (Jones, 2012). Este tipo de variabilidad climática genera incertidumbres en la producción y obliga a implementar estrategias adaptativas para garantizar la sostenibilidad del sector vitivinícola (Jones & Webb, 2010).

La principal limitante actual para la vitivinicultura uruguaya es la alta variabilidad climática interanual, caracterizada por fluctuaciones marcadas en la temperatura y el régimen de precipitaciones. Esta inestabilidad climática se ha intensificado en los últimos años como consecuencia del cambio climático global, generando impactos directos en la fisiología de la vid, la dinámica de maduración y la composición final de la uva. Eventos extremos, como olas de calor, lluvias intensas o prolongadas sequías, se presentan con mayor frecuencia e intensidad, alterando la duración de las fases fenológicas, acortando los ciclos de maduración y generando desbalances entre la madurez de la pulpa con respecto a la de los hollejos y semillas (Fourment & Piccardo, 2023; Gutiérrez-Gamboa & Fourment, 2025).

La principal región vitivinícola del país se encuentra ubicada en la costa del Río de la Plata y se beneficia del efecto de la brisa marina, que puede reducir hasta 4 °C la

temperatura durante el periodo de maduración. Esta moderación térmica logra disminuir los efectos del estrés térmico, y favorece la acumulación de compuestos secundarios en la variedad Tannat (Fourment et al., 2014, 2017).

Adaptar el cultivo de la vid al nuevo escenario climático implica comprender en profundidad los factores locales que afectan la fisiología de la planta, con el fin de preservar la calidad de la uva y, por ende, del vino. La calidad enológica de la uva al momento de la cosecha es el resultado de una compleja interacción entre factores genéticos (variedad, clon y portainjerto), edáficos (tipo de suelo y su disponibilidad hídrica), de manejo (poda, conducción, manejo de la canopia) y, principalmente, climáticos. En Uruguay, la variabilidad interanual observada (Fourment et al., 2013) genera importantes fluctuaciones en el equilibrio entre azúcares, ácidos orgánicos, compuestos fenólicos y precursores aromáticos (Fourment et al., 2024; Tachini et al., 2023), dificultando la consistencia en los perfiles sensoriales del vino entre cosechas (Gutiérrez-Gamboa & Fourment, 2025). Asimismo, las lluvias durante el período de maduración o cercanas a la cosecha, además de producir la dilución de los componentes de la baya, alterando la concentración de azúcares y ácidos, puede comprometer la sanidad del racimo, favoreciendo el desarrollo de enfermedades fúngicas como *Botrytis cinerea*, y de esta manera afectar la calidad del vino a elaborar (Ferrer et al., 2017; Hunter & Bonnardot, 2011).

Uno de los principales desafíos en los últimos años es el desfase entre la madurez tecnológica y la composición fenólica buscada, lo que dificulta la definición del momento óptimo de cosecha en condiciones de maduración cálidas (Fourment & Piccardo, 2023). La pulpa suele alcanzar su madurez antes que los hollejos y las semillas (Del Llaudy et al., 2008; Piccardo, González-Neves et al., 2019), lo que acentúa los problemas de desbalance en la madurez de la uva. Este desajuste se traduce en una acumulación excesiva de azúcares y una pérdida significativa de acidez, principalmente por la degradación del ácido málico (Jackson & Lombard, 1993), lo que da lugar a vinos con mayor grado alcohólico, menor frescura, menor tipicidad y estabilidad reducida. Si la temperatura durante la maduración es superior al valor óptimo, la pulpa de la uva madura más rápidamente, lo que provoca un aumento excesivo del pH y de la concentración de azúcares. De este modo, el período entre el envero y la madurez tecnológica se acorta, lo que dificulta la determinación de la composición fenólica buscada, y conduce a la elaboración de vinos desequilibrados (Zamora, 2003).

El desequilibrio en la madurez de la uva también impacta directamente en la composición fenólica, en particular en la síntesis y acumulación de antocianos y taninos. El estrés térmico, frecuente en condiciones de maduración acelerada, puede provocar

la degradación de antocianos e incluso inhibir su síntesis (Mori et al., 2007). Este aspecto es de gran relevancia, dado que el potencial enológico de las uvas tintas está fuertemente determinado por la concentración de compuestos fenólicos, responsables del color, la estructura y las características sensoriales del vino. Los vinos tintos intensos en color y con cuerpo son altamente valorados en el mercado, y su obtención depende de una eficiente extracción de polifenoles durante la vinificación, un proceso estrechamente ligado al nivel de madurez de la uva (Gil et al., 2012; Ó-Marques et al., 2005). Los antocianos, que se acumulan en los hollejos durante la maduración, son los principales responsables del color en los vinos jóvenes (Ribéreau-Gayon, Dubourdieu et al., 2003). Su concentración varía según la variedad, el grado de madurez alcanzado y las técnicas de maceración aplicadas (González-Neves et al., 2006). Además del contenido de antocianos, el color final del vino depende también del pH, de la presencia de copigmentos, y de reacciones de condensación con otros polifenoles durante la fermentación alcohólica (Hermosín Gutiérrez, 2007). Por otra parte, los taninos, polifenoles presentes tanto en hollejos como en semillas, están asociados con las sensaciones de amargor y astringencia del vino (Vivas et al., 2004). Estos compuestos están formados por polímeros de flavan-3-oles, cuyo grado de polimerización varía según su origen, y la percepción sensorial de astringencia aumenta con dicho grado de polimerización. Durante la maceración se produce la extracción y solubilización de los polifenoles. Asimismo, el conteido de polifenoles se encuentra condicionado por el estado de madurez de la uva, ya que un mayor contenido de etanol favorece la extracción desde las estructuras sólidas de la baya (Canals et al., 2005).

Durante la maduración de la uva bajo condiciones climáticas calurosas, se puede dar la sobremaduración de las uvas, dando lugar a vinos con pH elevado, lo que puede provocar una menor eficiencia del dióxido de azufre, inestabilidad microbiológica y color reducido en los vinos elaborados. En esas condiciones, se ha observado una mayor dificultad para llevar a cabo fermentaciones alcohólicas y malolácticas, un aumento en la acidez volátil y mayores riesgos microbiológicos (Zamora, 2003), lo cual incrementa los costos de producción y compromete la calidad final del vino (Jordão et al., 2015; Piccardo, González-Neves et al., 2019). Además, el alcohol, si bien es un componente clave del perfil sensorial del vino, puede afectar negativamente el equilibrio gustativo cuando se encuentra en exceso, enmascarando aromas, sabores y aumentando la percepción de calor en boca (Jordão et al., 2015).

En vendimias calurosas, reducir el contenido de alcohol sin modificar el resto de los componentes del vino es un objetivo actualmente perseguido por la industria enológica (Labanda et al., 2009). En este contexto, los enólogos se enfrentan a dos estrategias

posibles para definir la fecha de cosecha. La primera consiste en una cosecha anticipada, cuando la uva presenta una adecuada concentración de azúcares y acidez, pero aún no ha alcanzado una composición fenólica óptima. Este escenario conlleva una menor extractabilidad de antocianos y taninos desde los hollejos, y una mayor liberación de taninos desde las semillas (Canals et al., 2005), lo que da lugar a vinos con bajo contenido alcohólico, pero con elevada acidez, sensaciones amargas y aromas herbáceos, debido a una composición fenólica y aromática aún no equilibrada. Esta situación explica por qué las uvas poco maduras suelen dar lugar a vinos astringentes, amargos y con escasa complejidad sensorial.

La segunda opción consiste en esperar una adecuada composición fenólica, asumiendo los riesgos asociados a la elaboración de vinos con elevado contenido de alcohol y pH, mayor susceptibilidad a contaminaciones microbiológicas y alterar las características sensoriales del vino (Piccardo, González-Neves et al., 2019). En este contexto, lograr un equilibrio entre la madurez tecnológica y la fenólica se vuelve fundamental para asegurar la calidad del vino sin incurrir en los efectos negativos del desequilibrio en la maduración. Estos escenarios representan un desafío constante para los viticultores y bodegueros, quienes deben adaptarse a nuevas condiciones de cultivo y explorar técnicas de vinificación innovadoras para mantenerse competitivos.

Frente a esta realidad, Gutiérrez-Gamboa y Fourment (2025) destacan que el cambio climático no solo incrementa la frecuencia de eventos extremos como olas de calor y lluvias intensas, sino que también aumenta la incertidumbre en la producción vitivinícola, especialmente en regiones con alta variabilidad interanual como Uruguay. Según estos autores, el impacto del cambio climático en la fisiología de la vid y en la calidad del vino se traduce en una creciente dificultad para predecir el comportamiento de las variedades y obliga al desarrollo de sistemas de manejo más adaptativos. Este contexto resalta la necesidad de adoptar prácticas agronómicas y enológicas específicas que permitan mantener la calidad del vino en condiciones cada vez más impredecibles.

Ante esta situación, diversas investigaciones han buscado estrategias agronómicas y enológicas para mitigar estos efectos y preservar la calidad del vino. Algunas de ellas han demostrado un impacto positivo en la regulación de los componentes clave de la uva y del vino. A continuación, se describen las principales prácticas estudiadas.

1.3. Prácticas agronómicas y enológicas para mitigar la variabilidad climática

En este contexto, resulta imprescindible aplicar enfoques integrados que permitan adaptar el manejo vitícola y enológico a las condiciones climáticas variables, sin comprometer la calidad del vino. Entre las prácticas más relevantes se destacan la adaptación del manejo de la canopia según las condiciones climáticas del año y la implementación de técnicas específicas en bodega. Es fundamental que estas soluciones sean viables a nivel comercial, permitiendo así su aplicación en el sector productivo.

En Uruguay, se han desarrollado investigaciones orientadas a enfrentar esta problemática mediante el ajuste del manejo en el viñedo y en la vinificación. Estas líneas de trabajo incluyen: la evaluación de variedades de vid como Tannat, Marselan y Albariño por su adaptación a las condiciones agroclimáticas locales (Ferrer et al., 2020; Fourment et al., 2024; Listur et al., 2023); el uso de prácticas de manejo como la prepoda postenvero en las variedades Merlot y Tannat (Clara et al., 2023); la sustitución parcial de mosto con uvas inmaduras y su impacto en la composición fenólica y sensorial de vinos Pinot Noir, Merlot y Tannat (Fourment & Piccardo, 2023; Piccardo et al., 2023; Piccardo, Favre et al., 2019a, 2019b; Piccardo, Gombau et al., 2019; Piccardo, González-Neves et al., 2019) y el aislamiento y uso experimental de levaduras *no-Saccharomyces* autóctonas, caracterizadas por bajo rendimiento alcohólico y buen desempeño sensorial (Listur et al., 2023).

En el resto del mundo también se han investigado diversas alternativas para mitigar los efectos de las condiciones de maduración en climas cálidos, con el objetivo de reducir los contenidos de alcohol y pH en los vinos sin comprometer su calidad enológica. Son especialmente relevantes aquellas técnicas que permiten retrasar selectivamente la acumulación de azúcares sin afectar la síntesis de metabolitos secundarios. Entre ellas, el manejo de la canopia de la vid se ha empleado comúnmente para controlar dicha acumulación durante la maduración de las bayas y obtener vinos con menor graduación alcohólica. La tasa de acumulación de azúcar depende en gran medida de la relación entre el área foliar y el peso del fruto, por lo que una reducción del área foliar puede limitar este proceso (Cataldo et al., 2021).

El deshoje es una práctica ampliamente utilizada para equilibrar la relación fuente-fosa en la vid. En este sentido, una de las técnicas evaluadas es el deshoje pre apical, es decir un deshoje en la zona intermedia del pámpano, en la parte superior de los racimos para reducir la capacidad fotosintética de la planta durante el período de

maduración, modificando así los contenidos de azúcares y ácidos en las bayas y promoviendo una maduración más equilibrada (Poni et al., 2023; Vercesi et al., 2024).

A diferencia del deshoje basal, la remoción de hojas apicales no es una práctica extendida, y su influencia sobre la estructura de la canopia y las características del vino resultante aún no ha sido ampliamente estudiada. Su justificación fisiológica radica en que, hacia el envero, las hojas localizadas en los dos tercios superiores de la canopia presentan una alta eficiencia fotosintética, ya que han completado su desarrollo foliar y aún no muestran signos de senescencia (Poni et al., 1994). Diversos estudios sugieren que la intervención en esta zona de la canopia, realizada cuando las bayas presentan entre 12 y 14 °Brix, con una eliminación del 30–35 % del área foliar, puede ser eficaz para retrasar la maduración tecnológica sin comprometer compuestos fenólicos. Además, esta técnica es compatible con sistemas de mecanización modernos, ya que la intervención se realiza en una zona alejada del racimo, lo que minimiza el riesgo de daños directos al fruto y permite operar a mayor velocidad que en los sistemas de deshojado mecánico convencionales, que se enfocan en la base de la canopia (Poni et al., 2018).

No obstante, el principal desafío de esta técnica radica en preservar la composición fenólica de las uvas. Una mayor exposición de los racimos a la radiación solar, especialmente en condiciones de alta temperatura, puede inducir la degradación de antocianos, inhibir su síntesis y alterar la acumulación de taninos, lo que impacta directamente en el color, la estructura y la calidad sensorial del vino (Zhang et al., 2017). Sin embargo, en condiciones en que la temperatura no sea elevada, se produciría el efecto contrario. Por esta razón, el deshoje pre apical debe adaptarse a las condiciones agroclimáticas de cada región vitivinícola, considerando tanto la variedad de vid como el momento fenológico de aplicación.

Estas investigaciones han contribuido a buscar alternativas para la gestión del viñedo en escenarios climáticos desafiantes. La validación de estas técnicas bajo distintas condiciones de cultivo resulta fundamental para su aplicación efectiva a escala comercial y su posterior transferencia al sector productivo. En este contexto, su evaluación en países como Uruguay, caracterizadas por una alta variabilidad climática interanual, adquiere una importancia significativa, ya que permite adaptar estas prácticas a las condiciones locales y contribuir a la sostenibilidad del sistema vitivinícola.

Por otra parte, una de las técnicas empleadas en bodega para reducir el contenido de alcohol sin afectar negativamente otros componentes del vino es la mezcla de mostos o vinos obtenidos de uvas con diferentes grados de madurez. La sustitución de mosto

de uva en madurez tecnológica con mosto o vino proveniente de uva inmadura, ya sea de la misma variedad o diferente, permite disminuir la concentración de azúcares del mosto y obtener vinos menos alcohólicos (Catelén, 2022; Kontoudakis et al., 2011; Piccardo et al., 2023; Piccardo, Favre et al., 2019a, 2019b; Piccardo, Gombau et al., 2019; Piccardo, González-Neves et al., 2019; Rolle et al., 2018).

A nivel nacional, se ha evaluado esta técnica en distintas variedades y condiciones agroclimáticas, demostrando que además de reducir el contenido alcohólico y el pH, permite mantener o mejorar la concentración de compuestos fenólicos y las características sensoriales, aportando mayor complejidad aromática y frescura a los vinos (Piccardo et al., 2023; Piccardo, Favre et al., 2019a, 2019b; Piccardo, Gombau et al., 2019; Piccardo, González-Neves et al., 2019). Esta estrategia contribuye a la elaboración de vinos diferenciados y a la sustentabilidad de los sistemas productivos. A nivel internacional, Kontoudakis et al. (2011), Rolle et al. (2018) y Catelén (2022) han reportado resultados similares, evidenciando que la mezcla de mostos de distintas madurez puede ser una estrategia viable para elaborar vinos con menor graduación alcohólica sin comprometer su calidad.

De esta manera, la aplicación de estas técnicas permite la elaboración de vinos diferenciados y podrían emplearse como alternativas para mejorar la sustentabilidad de los sistemas productivos y del sector vitivinícola en su conjunto, contribuyendo a mitigar los efectos de la variabilidad climática interanual sobre la composición del vino.

1.4. Hipótesis

Como hipótesis de esta investigación se plantea que, a través de técnicas alternativas de gestión de la canopia en el viñedo (deshoje pre apical) y gestión de la vinificación en bodega (sustitución de mosto), es posible regular el contenido de alcohol y pH de los vinos, manteniendo su concentración en compuestos fenólicos en función del potencial enológico de la uva Tannat.

1.5. Objetivo general y específicos

El objetivo principal es evaluar cómo el deshoje pre apical y la sustitución de mosto de uva madura por mosto o vino de uva inmadura impactan en la reducción del contenido de alcohol y pH del vino tinto Tannat, asegurando al mismo tiempo que no se vean afectados su color ni su composición fenólica.

Para cumplir con el objetivo general se plantearon los siguientes objetivos específicos:

1. Evaluar los efectos del deshoje pre apical sobre los componentes del rendimiento en la vid y la composición fisicoquímica de la uva durante la maduración, así como también sobre el color, la composición y las características sensoriales del vino tinto elaborado.
2. Determinar la eficiencia de la sustitución parcial de mosto de uva madura por mosto de uva inmadura para la obtención de vinos tintos con menor contenido de alcohol y pH, así como también su color, composición fenólica y características sensoriales.
3. Determinar la eficiencia de la sustitución parcial de mosto de uva madura por vino de uva inmadura para la obtención de vinos tintos con menor contenido de alcohol y pH, así como también su color, composición fenólica y características sensoriales.
4. Comparar los efectos de las técnicas vitícolas y enológicas empleadas para reducir el contenido de alcohol y el pH del vino en relación con una vinificación tradicional.

Con la presente investigación, se espera aportar información relevante y aplicable para la viticultura y enología nacional, generando estrategias efectivas para afrontar los desafíos climáticos actuales y futuros, contribuyendo a la producción de vinos de calidad. Mediante el estudio conjunto de técnicas agronómicas y enológicas, se busca optimizar la calidad de los vinos tintos y contribuir al desarrollo sostenible del sistema productivo nacional.

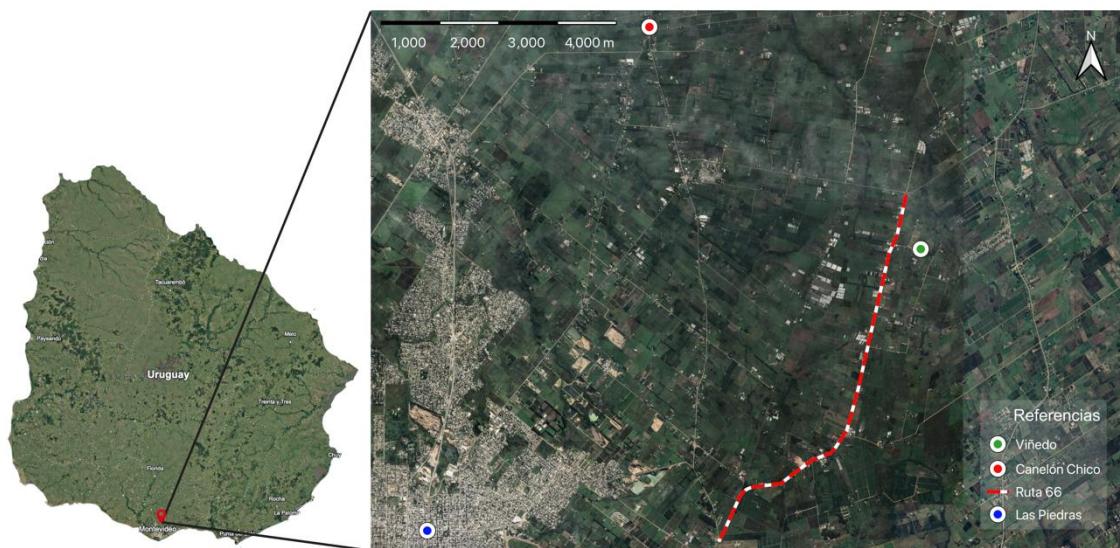
2. Materiales y Métodos

2.1. Sitio experimental y material vegetal

Este trabajo se llevó a cabo en el ciclo vegetativo 2024-2025, en un viñedo comercial ubicado en la Ruta 66 km 27.500, Canelón Chico, Canelones, al sur de Uruguay (Figura 1).

Figura 1

Ubicación del predio bajo estudio (izquierda) y ubicación del viñedo y localidades cercanas (derecha)



Nota. Adaptado de Google Earth (2025).

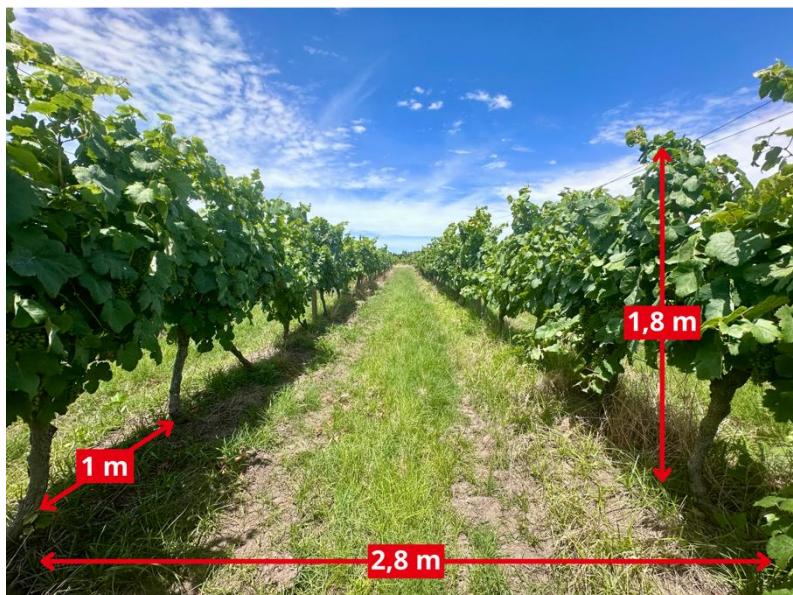
El ensayo se instaló sobre un viñedo de la variedad Tannat (*Vitis vinifera* L., Vitis International Variety Catalogue number: VIVC 12257; Julius Kühn-Institut, s.f.), injertado sobre 101.14 MGt (*Vitis riparia* x *Vitis rupestris*) e implantado en el año 1997. Las plantas están conducidas en espaldera alta, con sistema de poda Guyot bilateral con 4-6 yemas por cargador (8-12 yemas/vid) y un marco de plantación de 1 m x 2,8 m (distancia entre plantas y filas, respectivamente), lo que resulta en una densidad de plantación de 3.571 plantas/ha. Las filas se encuentran orientadas de Norte a Sur (NS) y la espaldera de 1,8 m de alto, está constituida por un alambre donde se encuentra el plano de poda a los 0,9 m por encima del suelo y tres alambres dobles de conducción de la vegetación (Figura 2).

Durante la temporada de crecimiento de la vid, se realizó un manejo convencional del viñedo a cargo del productor que incluyó la poda, los tratamientos sanitarios, el posicionamiento de los pámpanos y el manejo general de la fila y la entre fila. Las vides

no fueron regadas ni raleadas, y las prácticas de manejo del follaje se limitaron a los tratamientos de este ensayo.

Figura 2

Sistema de conducción del viñedo de Tannat / 101.14 MGt bajo estudio



2.2. Caracterización de las condiciones climáticas

Desde la brotación a la cosecha, se realizó un análisis climático de la región como factor determinante de la calidad final de la uva. Se utilizaron registros diarios de la estación agro – meteorológica del Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria (INIA, s.f.) Las Brujas debido a que es la más cercana al viñedo (20 km de distancia). Se calculó la acumulación de precipitaciones (en mm) y las temperaturas media, máxima y mínima por mes ($^{\circ}\text{C}$) durante el ciclo vegetativo del cultivo (01/09/24 – 10/03/25).

2.3. Diseño experimental en el viñedo

Las vides de la variedad Tannat incluidas en este estudio se sometieron a dos tratamientos que se detallan a continuación:

- Deshoje pre apical (D): consistió en la remoción manual de hojas principales y laterales de los 7 nudos superiores al segundo racimo al inicio del envero, el 22 de enero de 2025, correspondiente al estado 36 según la escala propuesta por Eichhorn Lorenz (E-L) modificada (Coombe, 1995).
- Testigo (T): sin deshoje.

Se realizaron 3 repeticiones de cada tratamiento con 10 plantas cada una siguiendo un diseño completamente al azar (Figura 3).

Figura 3

Diseño experimental de los tratamientos en viñedo



Nota. Disposición de los tratamientos (Testigo y Deshoje pre apical) en el viñedo. Las filas corresponden a las repeticiones de los tratamientos. Adaptado de Google Earth (2025).

2.4. Variables vitícolas estudiadas

2.4.1. Composición y estructura de la canopia: medición de la superficie foliar

Se contabilizó el número de nudos por pámpano y se realizaron mediciones de la estructura de la canopia antes y después de los tratamientos de deshoje en las plantas seleccionadas de ambos tratamientos. Dichas determinaciones se realizaron empleando dos métodos: por un lado, la determinación a través del programa VitiCanopy (De Bei et al., 2016) y el método de Superficie Foliar Expuesta Potencial (SFEp) (Carbonneau, 1995). Para el uso de programa Viticanopy se tomaron fotos con un iPhone 14 Pro-Max (Apple Inc. Estados Unidos) y un selfie stick (China). Se obtuvieron imágenes a un metro de la copa de la vid, en un ángulo cenital de 45° y a 10 cm por encima del suelo (Figura 4). Las imágenes recopiladas se analizaron utilizando la aplicación VitiCanopy. Para la determinación de la SFEp, se tomaron imágenes de forma frontal a las plantas con lona de color blanco detrás y se midió la altura, ancho y profundidad del follaje de 12 plantas, dos por repetición analítica de cada tratamiento.

Figura 4

Imágenes tomadas de las plantas para la medición de la superficie foliar



Nota. a) Determinación a través del programa VitiCanopy, b) Método de Superficie Foliar Expuesta Potencial (SFEp).

2.4.2. Componentes del rendimiento

Se realizó la evaluación del rendimiento de las plantas testigo y de las sometidas al deshoje pre apical al momento de la cosecha (10 de marzo de 2025, E-L 39). La cosecha se determinó cuando las uvas se encontraban en madurez tecnológica. Se pesó individualmente el rendimiento obtenido por planta utilizando una balanza Ohaus Scout (Estados Unidos). Se tomó registro de la cantidad de racimos sanos y racimos afectados por podredumbre (enfermos) y se pesaron por separado para obtener peso de cosecha sana por planta y peso de cosecha con podredumbre por planta.

2.4.3. Análisis de la composición de la uva

Se llevó a cabo un seguimiento semanal de la composición de la uva, tomando muestras de uvas de cada tratamiento y repetición a partir del 22 de enero que corresponde al estado 36 de la escala propuesta por Eichhorn Lorenz (E-L) modificada (Coombe, 1995), hasta la cosecha de la uva realizada el 10 de marzo correspondiente al estado E-L 39. En total se tomaron 8 muestras.

Las muestras de uva (100 bayas por repetición) se recogieron siguiendo el método propuesto por Carbonneau et al. (1991) considerando tomar de forma aleatoria tres a cinco bayas de diferentes partes del racimo y variando el nivel de exposición. Para cada fecha de muestreo las muestras se llevaron al Laboratorio de Enología en Facultad de Agronomía para su análisis inmediato.

Las bayas fueron desgranadas, cortando el pedúnculo al ras de la baya. Se cuantificó el peso de baya utilizando una balanza Ohaus SP402 (Estados Unidos). Se emplearon los métodos analíticos recomendados por la Organisation Internationale de la Vigne et du Vin (OIV, 2021) para determinar la concentración de azúcares, el pH y la acidez total de los mostos. Adicionalmente, se empleó un equipo NIR OenoFossTM, software FOSS Integrator (FOSS Analytical Solutions, s.f.) para analizar la composición primaria de la uva (acidez total, ácido tartárico, ácido málico, pH y grados brix). Estas determinaciones se realizaron sobre el mosto filtrado obtenido luego de estrujar las 100 bayas de forma manual.

Para la cuantificación de la concentración de azúcares se utilizó un refractómetro de mano Atago MasterTA (Japón). Los grados brix fueron convertidos a g/L de azúcares y porcentaje de alcohol probable. La acidez total se determinó a través de una valoración ácido base empleando azul de bromotimol como reactivo indicador. Para la determinación del pH fue empleado un pHmetro Hanna HI2211 (Italia).

La composición fenólica fue determinada únicamente en el momento de la cosecha de la uva. Las muestras fueron recolectadas y congeladas para su posterior análisis. Se emplearon los métodos descritos por Ribéreau-Gayon (1970) para la cuantificación de polifenoles totales, Ribéreau-Gayon y Stonestreet (1965) para antocianos, y Sarneckis et al. (2006) para taninos. La metodología fue adaptada para su instrumentación en un detector de microplacas UV-VIS BMG SPECTROstar Nano (Ortenberg, Alemania) según Mercurio et al. (2007). Las determinaciones se realizaron a partir de extractos hidrometanólicos obtenidos de 50 bayas enteras, previamente descongeladas. El procedimiento siguió el protocolo descrito por Pérez-Navarro et al. (2019), con algunas modificaciones. Para el procesamiento de la muestra, se utilizó una licuadora Bosch de 600 W (Alemania), con la cual las bayas fueron procesadas durante 5 minutos: los primeros 30 segundos a velocidad mínima y los restantes a velocidad máxima.

Los parámetros cromáticos del mosto de uva se realizaron al momento de cosecha empleando una cubeta de 1mm de paso óptico y un espectofotómetro Genesys (Madison, USA). Se determinó la intensidad colorante y la tonalidad mediante el método de Glories (1984), así como las coordenadas CIELab siguiendo el método descripto por Ayala et al. (1997). Para el procesamiento de los datos se utilizó el software MCSV por Grupo de color (2012).

2.5. Cosecha, vinificaciones y diseño experimental

Las vinificaciones experimentales se realizaron en la bodega experimental de Facultad de Agronomía Udelar (Garzón 780, Montevideo), con uvas cosechadas a partir del viñedo donde se realizó el ensayo vitícola.

En enero, el 8 de febrero de 2025 (E-L 36), se cosecharon 60 kg de uva inmadura. La cosecha se realizó durante las primeras horas de la mañana de forma manual. La uva fue trasladada a la Facultad de Agronomía para ser conservada en cámara de frío a 5 °C por 24 horas. Posteriormente, las mismas se despalillaron, estrujaron (Alfa 60 R, Italcom, Villafranca, Italia) y se prensaron ligeramente en una prensa manual para obtener un mosto con baja concentración de azúcares y alta acidez (sólidos solubles: $166 \pm 0,1$ g/L azúcares; alcohol probable: $9,23 \pm 0,06$ % v/v; acidez total: $7,65 \pm 0,01$ g/L H₂SO₄, pH: $2,77 \pm 0,01$). Se obtuvo 30 L de mosto, se sulfitó con 100 mg/L de K₂S₂O₅ (Kadifit, Erbslöh, Alemania) y se mantuvo a 5 °C durante 24 horas para su desfangado. Posteriormente se determinó su turbidez utilizando un nefelómetro (TB100), se realizó el desfangado y el mosto resultante se envasó en dos recipientes de 10 L de capacidad y 2 de 5 L. Los recipientes se separaron en dos lotes de 15 L cada uno. El primer lote fue conservado a 4 °C hasta el momento de su utilización. Sobre el segundo lote, se procedió a la inoculación con 200 mg/L de levadura seca activa (*Saccharomyces cerevisiae* bayanus; Oenoferm B52 NG, Erbslöh, Zaragoza, España), junto con la adición de 200 mg/L de nutriente (Abavin Nut). La fermentación alcohólica se llevó a cabo dentro de un freezer Panavox FH-1142 (Uruguay), acondicionado para funcionar como cámara de fermentación. La temperatura estuvo comprendida entre 17 y 19 °C y la fermentación tuvo una duración de 17 días. Los agregados de productos se realizaron empleando una balanza Ohaus SP402 (Estados Unidos).

Cuando la uva del tratamiento T alcanzó la madurez tecnológica (concentración elevada de azúcar próxima a 235 g/L, equivalente a 24 °Brix y un valor de alcohol probable de 13%v/v; pH próximo a 3,4) el 10 de marzo de 2025 (E-L 39) se cosecharon 71 kg de uva del tratamiento T y 68 kg de uva del tratamiento D siguiendo el mismo procedimiento descripto anteriormente para la uva inmadura. Se trasladó la uva a la bodega experimental en donde las vinificaciones se realizaron al día siguiente. Las uvas fueron despalilladas y estrujadas (Alfa 60 R, Italcom, Villafranca, Italia) de forma independiente según tratamiento. El mosto proveniente de las uvas del tratamiento T se encubrió en 9 contenedores de polietileno de 10 L de capacidad conteniendo 9 kg de uva procesada por contenedor. Los mismos se dividieron aleatoriamente en tres grupos: el primer grupo fue vinificado de forma tradicional (VT - maceración fermentativa de 7 días), en el segundo grupo se sustituyó un 20% de mosto original por 20% del mosto

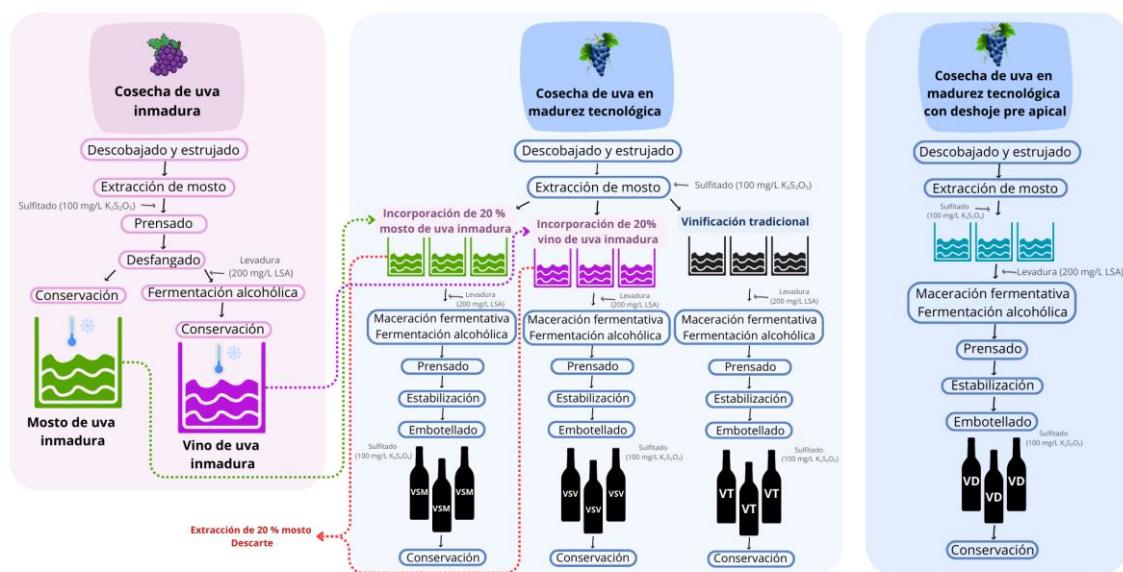
inmaduro con baja concentración de azúcares y pH (VSM - vinificación con sustitución por mosto reducidos en azúcares), mientras que en el tercer grupo se sustituyeron 20% de mosto original por 20% del vino con baja concentración de alcohol y pH (VSV - vinificación con sustitución por vino reducido en alcohol).

Adicionalmente, el mosto obtenido de la uva correspondiente al tratamiento del deshoje pre apical se distribuyó en 3 recipientes de 10 L de capacidad y se realizó una vinificación tradicional (VD - Vinificación del tratamiento deshoje pre apical en viñedo).

En consecuencia, el diseño experimental de las vinificaciones fue completamente al azar con cuatro tratamientos y tres repeticiones por tratamiento, donde la unidad experimental fue el recipiente de 10 L de capacidad (Figura 5).

Figura 5

Diseño experimental de las vinificaciones



Los mostos de los cuatro tratamientos fueron sometidos a una maceración fermentativa de 7 días. Todos los contenedores fueron corregidos con 100 mg/L de $K_2S_2O_5$ y posteriormente, inoculados con 200 mg/L de levadura seca activa (*Saccharomyces cerevisiae* bayanus; Oenoferm B52 NG, Erbslöh, Zaragoza, España). Durante la maceración, se realizó un remontaje diario a fin de favorecer la extracción de polifenoles. La temperatura de fermentación estuvo comprendida entre 18 y 25 °C. Después de 7 días de maceración, el vino se extrajo por gravedad y los orujos se prensaron ligeramente en una prensa manual. El vino de gota y el vino de prensa se unificaron y se mantuvieron en recipientes de 5 litros a temperatura ambiente ($18 \pm 2^\circ\text{C}$). La fermentación alcohólica se completó cuando las medidas diarias de densidad del mosto fueron inferiores a 998 g/L durante tres días consecutivos. Los vinos se

estabilizaron con 100 mg/L de $K_2S_2O_5$. Finalmente, los vinos fueron trasegados a bidones de 3 L siendo eliminadas las partículas precipitadas y envasados en botellas de 375 y 750 mL de capacidad. Se almacenaron en cajas cerradas a temperatura ambiente de bodega hasta su análisis.

2.6. Análisis de mostos y vinos

2.6.1. Seguimiento de fermentación

Se realizó un seguimiento diario de las fermentaciones, registrando la densidad y la temperatura. La densidad fue determinada mediante un mostímetro Dujardin-Salleron (2001FC-10/20, Alla France, Chemillé, Francia), mientras que la temperatura del vino elaborado a partir de uvas inmaduras se controló mediante la sonda del freezer mencionada en el apartado 2.5. Para los vinos tintos, la temperatura fue medida con un termómetro (2905, Alla France, Chemillé, Francia). Además, en los vinos correspondientes a los cuatro tratamientos evaluados, se llevó a cabo un seguimiento del contenido de polifenoles totales, antocianos y parámetros cromáticos, según los métodos descritos en el apartado siguiente.

2.6.2. Análisis fisicoquímicos

Se realizaron análisis del mosto proveniente de uva inmadura y madura inmediatamente luego de su molienda. Se emplearon los métodos analíticos recomendados por la OIV (2021) para determinar la concentración de azúcares, el pH y la acidez total de los mostos. Adicionalmente, se empleó un equipo NIR OenoFossTM, software FOSS Integrator (FOSS Analytical Solutions, s.f.) para analizar la composición del mosto. Se siguió el mismo protocolo descrito en el apartado 2.4.3. para analizar los compuestos primarios de la uva durante el seguimiento de maduración.

El vino elaborado a partir de uvas inmaduras fue analizado por triplicado una semana después de finalizada la fermentación alcohólica. En tanto, los vinos obtenidos mediante sustitución y aquellos provenientes de uvas con deshoje pre apical se analizaron por duplicado dos meses después del descube.

En cuanto a la composición básica de los vinos se determinó: etanol, pH, acidez total, concentración de ácido málico, concentración de ácido láctico, acidez volátil, concentración de fructosa, concentración de glucosa y la relación glucosa/fructosa empleando un equipo NIR OenoFossTM, software FOSS Integrator (FOSS Analytical Solutions, s.f.).

Para la determinación de los parámetros cromáticos se utilizó una cubeta de 1mm de paso óptico. Mediante el método de Glories (1984) se determinó la intensidad

colorante y la tonalidad. Las coordenadas CIELab: luminosidad (L^*), croma (C^*), tonalidad (H^*), rojo/verde (a^*) y amarillo/azul (b^*) fueron determinadas siguiendo el método descripto por Ayala et al. (1997) y para el procesamiento de los datos se utilizó el software MCSV (Grupo de color, 2012).

Se realizaron análisis espectrofotométricos para evaluar la composición fenólica de los vinos, determinándose el contenido e índice de polifenoles totales, antocianos y taninos, según los métodos mencionados en el apartado 2.4.3. para determinar la composición fenólica de la uva. Asimismo, los polifenoles totales en el vino se determinaron con el reactivo de Folin Ciocalteu según Singleton y Rossi (1965). En el caso del vino elaborado a partir de uvas inmaduras, la cuantificación de taninos se realizó mediante el índice DMACH (basado en la reacción con p-dimetilamino cinamaldehído), siguiendo el procedimiento descrito por Vivas et al. (1994). El detector de microplacas utilizado para las determinaciones fue UV-VIS BMG SPECTROstar Nano (Ortenberg, Alemania).

2.7. Evaluación sensorial de los vinos

La evaluación sensorial de los vinos se realizó cuatro meses después de finalizada su elaboración, en agosto de 2025. Participó un panel de 10 degustadores, conformado por enólogos y profesores de Facultad de Agronomía (Universidad de la República, Uruguay) con experiencia en el análisis sensorial de vinos. Se conformó de 5 mujeres y 5 hombres, con edades entre los 25 y 60 años.

La evaluación fue llevada a cabo bajo condiciones de laboratorio apropiadas para el análisis sensorial. Se trató de una cata a ciegas y de forma aleatoria donde cada degustador analizó una única vez cada vino. Se evaluaron 10 atributos sensoriales: intensidad colorante, tonalidad, intensidad aromática, calidad aromática, acidez, etanol, astringencia, amargor, persistencia y equilibrio. Se utilizó una ficha (Figura A1) en la que cada atributo fue evaluado mediante una escala del 0 al 10, donde el valor asignado representa el grado de intensidad percibido para cada atributo. Asimismo, se les solicitó a los degustadores que establecieran un orden de preferencia entre los vinos evaluados.

2.8. Procesamiento de los datos y análisis estadístico

Todos los datos se expresan como el promedio aritmético \pm desviación estándar de tres repeticiones. Las diferencias estadísticas entre los tratamientos fueron determinadas aplicando análisis de varianza univariados a través del test de Tukey con $p<0,05$. Los análisis estadísticos se realizaron utilizando los programas R, R Studio e InfoStat.

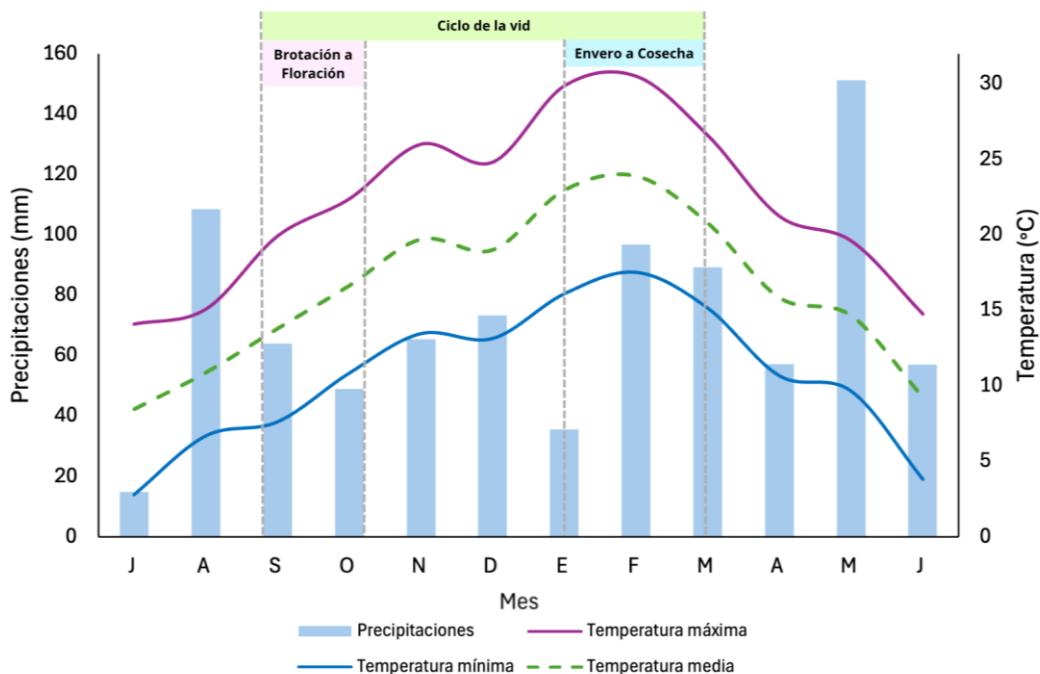
3. Resultados y Discusión

3.1. Caracterización de las condiciones climáticas

Las características climáticas durante el ciclo de la vid son determinantes para el potencial enológico y la calidad de las uvas al momento de la cosecha. Por ello, para la temporada 2024-2025 se analizó la precipitación efectiva y la temperatura media, máxima y mínima mensual, utilizando datos meteorológicos de INIA (s.f.) Las Brujas representados en la Figura 6. Asimismo, en la figura se indica la duración del ciclo de la vid, comprendido entre el 1 de septiembre de 2024 y el 10 de marzo de 2025.

Figura 6

Precipitación efectiva, temperatura media, máxima y mínima mensuales durante la temporada 2024-2025



Nota. Elaborado a partir de datos de la estación agro - meteorológica INIA (s.f.) Las Brujas, desde julio de 2024 a junio de 2025.

Desde el punto de vista hídrico, la acumulación total de precipitaciones entre septiembre y marzo fue de 421 mm. De acuerdo con Deloire y Pellegrino (2021), la vid requiere entre 450 y 550 mm de agua durante su ciclo de desarrollo, por lo que la cantidad registrada en esta temporada se ubicó levemente por debajo del umbral mínimo. Esto sugiere que las lluvias podrían no haber sido suficientes para cubrir completamente las necesidades hídricas del cultivo. Del total acumulado, 75 mm se concentraron en el período comprendido entre la brotación y la floración, mientras que 138 mm ocurrieron entre el envero y la cosecha. Esta última etapa, que coincide con la

maduración de la uva y representa aproximadamente el 33 % de la precipitación efectiva del ciclo, es de especial interés enológico debido a su influencia en la calidad final del fruto. En cuanto a la frecuencia de las precipitaciones, durante los 191 días que abarcó el ciclo de la vid (del 1 de septiembre al 10 de marzo), se registraron 38 días con lluvias, lo que representa aproximadamente un 20% del total. De estos, 11 días con precipitaciones se concentraron en el período de maduración. Durante esta fase, una mayor disponibilidad de agua puede comprometer la sanidad del fruto, aumentando la susceptibilidad a enfermedades y generando una disminución en la relación hollejo/pulpa, un efecto no deseado en la elaboración de vinos tintos de alta calidad (Ferrer et al., 2014).

La temperatura media durante el ciclo de la vid fue de 19,3°C al igual que lo reportado por Fourment et al. (2020) para el departamento de Canelones. Desde la brotación a floración la temperatura media estuvo comprendida entre 13,4 y 19,6°C, mientras que para el período de envero a cosecha estuvo entre 20,5 a 22,9°C. Según Martínez de Toda (1991) estas temperaturas son óptimas para la maduración de la uva.

La temperatura máxima del ciclo se registró en el mes de febrero siendo de 30,5°C. Asimismo, en 38 días del ciclo la temperatura máxima fue superior a 30°C, dato que concuerda con la evaluación climática en el período analizado por Fourment et al. (2013). Por otra parte, la temperatura máxima promedio durante el ciclo de la vid (septiembre a marzo) fue de 25,7°C, un valor adecuado para el normal desarrollo de los procesos fisiológicos según Keller (2020), debido a que temperaturas entre 25 y 30°C favorecen un crecimiento vegetativo óptimo. La maduración de la baya también se ve favorecida por temperaturas dentro de ese mismo rango (Ferrer et al., 2020; Mori et al., 2007), por lo que no se identificaron restricciones térmicas durante este proceso. En relación con la síntesis de compuestos fenólicos, la temperatura promedio registrada tampoco resultó desfavorable. De acuerdo con Martínez de Toda (1991) y Ferrer et al. (2017), el rango térmico óptimo para la acumulación de estos compuestos en la baya se encuentra entre 15 y 25°C. Por encima de los 35°C, su síntesis puede verse inhibida (Mori et al., 2007), lo cual no se considera relevante en este estudio, ya que solo en 9 días del ciclo se registraron temperaturas máximas superiores a ese umbral.

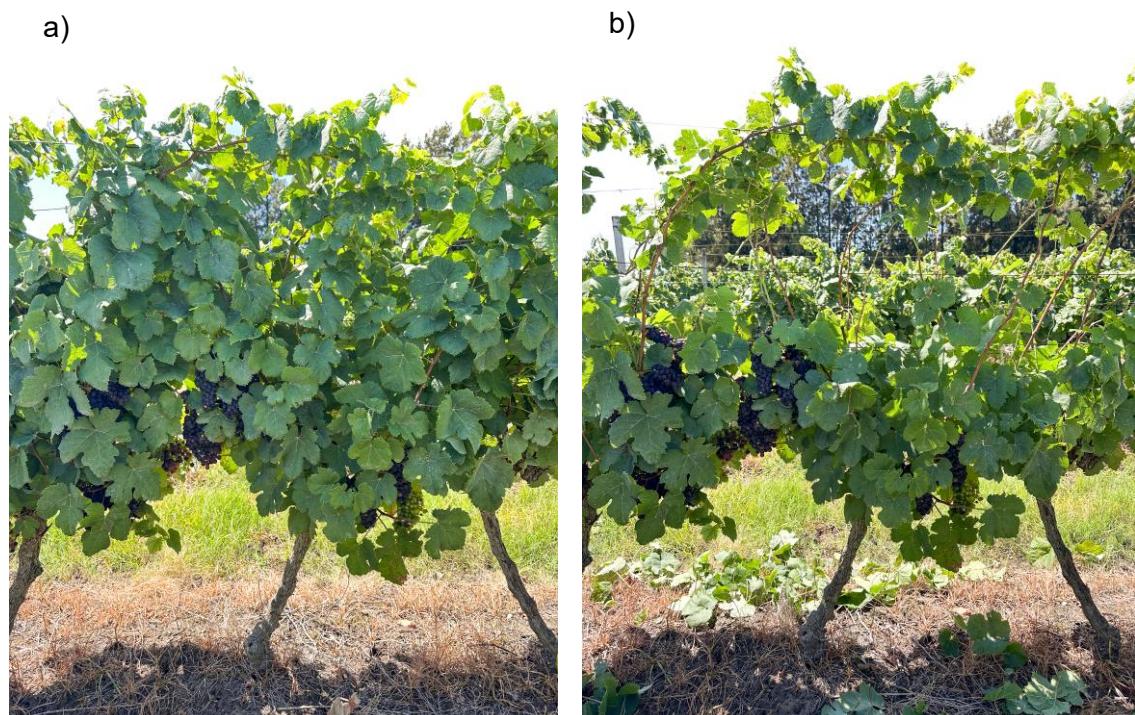
3.2. Composición y estructura de la canopia: medición de la superficie foliar

El manejo de la canopia realizado fue la eliminación de las hojas correspondientes a los 7 nudos superiores al segundo racimo como se muestra en la Figura 7. En función de la proporción de nudos eliminados respecto al total presente en la planta, esta

práctica redujo el área foliar total en un $36 \pm 5\%$ en comparación con el tratamiento testigo sin deshoje.

Figura 7

Aplicación de la técnica de deshoje pre apical: comparación antes y después del tratamiento



Nota. a) Planta antes del deshoje pre apical, b) Planta después del deshoje pre apical.

Al evaluar la superficie foliar mediante el programa VitiCanopy, no se observaron diferencias significativas entre los tratamientos testigo y deshoje pre apical en relación con el índice de área foliar ($1,06 \pm 0,44$ y $1,09 \pm 0,14$ respectivamente) mostrando una diferencia de 3 % (Tabla 1). No obstante, dicho método permitió discriminar entre los tratamientos a partir de la porosidad de la canopia, siendo esta 15 % menor en las plantas sometidas al deshoje pre apical. Este parámetro hace referencia a la proporción del área no ocupada por follaje. En consecuencia, el método no permitió detectar un efecto claro del deshoje pre apical sobre la estructura de la canopia.

Tabla 1

Superficie foliar mediante el programa VitiCanopy

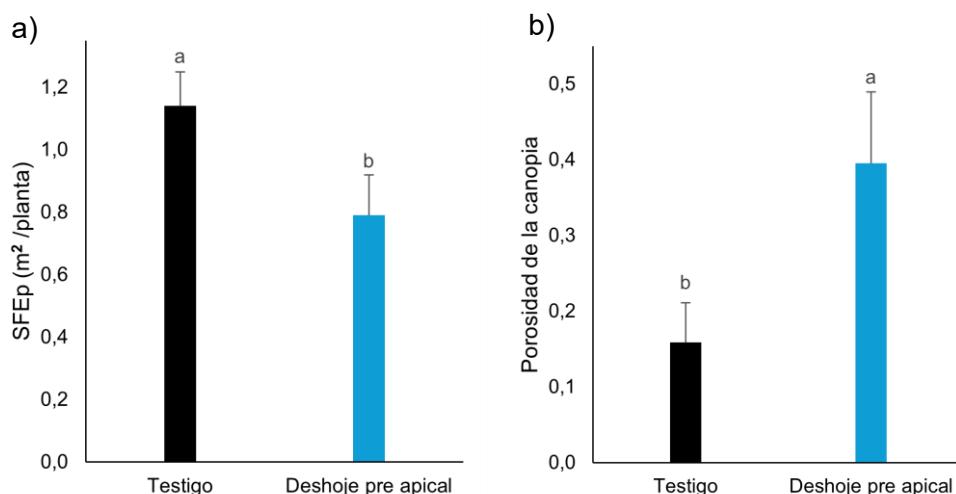
Tratamiento	Testigo	Deshoje pre apical
Índice de área foliar	$1,06 \pm 0,44$ a	$1,09 \pm 0,14$ a
Porosidad de la canopia	$0,33 \pm 0,08$ a	$0,28 \pm 0,04$ b
Cobertura de la canopia	$0,75 \pm 0,10$ a	$0,74 \pm 0,05$ a

Nota. Medias con distinta letra indican diferencias significativas ($p<0.05$).

Para la determinación de la Superficie Foliar Expuesta Potencial (SFEp) se aplicó la metodología propuesta por Carboneau (1995), la cual permitió discriminar entre los distintos tratamientos como se observa en la Figura 8. El tratamiento testigo presentó una SFEp de $1,14 \pm 0,11$ m² por planta lo cual refiere a 4049 ± 377 m²/ha, mientras que las plantas sometidas a deshoje pre apical registraron un valor significativamente menor, de $0,79 \pm 0,13$ m² por planta y 2826 ± 480 m²/ha, lo que representa una reducción del 31 % en comparación con el testigo. A diferencia de lo observado con el uso de VitiCanopy, el método de Carboneau permitió detectar un incremento de la porosidad del 60 % en las plantas deshojadas con respecto al testigo.

Figura 8

Superficie foliar según la metodología propuesta por Carboneau



Nota. a) Superficie Foliar Expuesta Potencial, b) Porosidad de la canopia. Medias con distinta letra indican diferencias significativas ($p<0.05$).

Las reducciones en el área foliar total debidas a la práctica de deshoje pre apical fueron similares a las reportadas en otros estudios (Pallotti et al., 2025; Poni et al., 2013; Vercesi et al., 2024; Zhang et al., 2017). En la mayoría de los casos, la reducción fue cercana al 40 %, un valor relevante si se considera que Pallotti et al. (2013) observaron

que, para lograr una disminución significativa en la acumulación de azúcares, el área foliar de la vid debe reducirse entre un 30 y un 35 %.

3.3. Componentes del rendimiento

El rendimiento, como se muestra en la Tabla 2, fue de 4,71 kg/planta para el tratamiento T y de 4,55 kg/planta para el tratamiento D, sin observarse diferencias significativas entre ambos. De acuerdo con INAVI (2024), el rendimiento promedio de la variedad Tannat es de 4,55 kg/planta, por lo que la productividad del viñedo comercial evaluado se corresponde con la media nacional. Por su parte, Ferrer et al. (2020) analizaron el rendimiento de la variedad Tannat en plantas con diferentes niveles de vigor (alto, medio y bajo), encontrando diferencias significativas entre ellos solo en uno de los años evaluados (2017). Al comparar los resultados obtenidos en el presente estudio con los de Ferrer et al. (2020) se observa que los valores registrados aquí son inferiores a los reportados por esos autores para las plantas de bajo vigor, las cuales presentaron rendimientos de entre 5,27 y 5,67 kg/planta.

Al extraer los datos al rendimiento por hectárea, considerando el marco de plantación, el tratamiento T alcanzó un rendimiento de 15.713 kg/ha, mientras que el tratamiento D obtuvo 15.162 kg/ha, lo que representa una diferencia del 3,5%. De este modo, el deshoje pre apical no tuvo un impacto significativo sobre el rendimiento de uva, resultado que concuerda con lo reportado por Pallotti et al. (2025), Poni et al. (2013), Vercesi et al. (2024) y Zhang et al. (2017), quienes también evaluaron este tipo de manejo en el viñedo. Cuando las hojas se eliminan durante el envero o en estados fenológicos más avanzados, el rendimiento no se ve afectado, sin embargo, este puede verse alterado cuando el deshoje se realiza en etapas más tempranas, como la prefloración (Cataldo et al., 2021). No obstante, es importante considerar que durante el envero tiene lugar la diferenciación floral en las yemas, por lo que la reducción del área foliar en esta etapa podría afectar el rendimiento del siguiente año. Estudios como el de Vaillant-Gaveau et al. (2014) señalan que intervenciones que disminuyen la capacidad fotosintética de la planta durante este período crítico pueden tener efectos negativos en la formación de inflorescencias y, por ende, en la productividad del año siguiente.

Al comparar estos datos con los reportados por INAVI (2024), se observa que la media nacional de productividad para la variedad Tannat es de 16.351 kg/ha, un valor superior al registrado en el presente estudio.

La menor productividad observada podría atribuirse al portainjerto sobre el cual está implantado este viñedo comercial. Como se mencionó anteriormente, la variedad está injertada sobre el portainjerto 101.14 MGt, el cual se caracteriza por conferir un menor

vigor a la parte aérea de la planta, lo que podría repercutir negativamente en el rendimiento (Keller, 2020).

Tabla 2

Rendimiento, número y peso de racimos contabilizados en cosecha para los dos tratamientos en evaluación

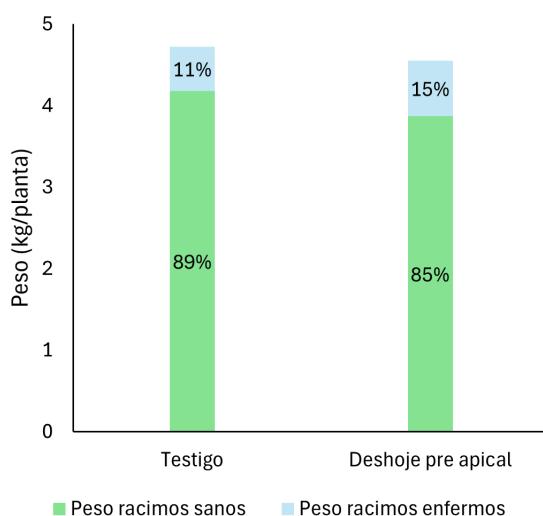
Tratamiento	Testigo	Deshoje pre apical
Rendimiento (kg/planta)	4,71 ± 1,54 a	4,55 ± 2,09 a
Número racimos totales	21,7 ± 6,0 a	20,5 ± 7,0 a
Número de racimos sanos	19,1 ± 8,2 a	16,9 ± 10,3 a
Peso racimos sanos (kg)	4,18 ± 1,55 a	3,87 ± 2,55 a
Número racimos enfermos	2,53 ± 3,23 a	3,60 ± 5,04 a
Peso racimos enfermos (kg)	0,54 ± 0,68 a	0,68 ± 0,93 a

Nota. Medias con distinta letra indican diferencias significativas ($p<0.05$).

Se cuantificaron los racimos totales por planta, clasificándolos en sanos y enfermos, entendiéndose estos últimos como aquellos afectados por podredumbre en más de una baya. Las plantas con deshoje pre apical no presentaron diferencias significativas de racimos sanos y enfermos en comparación con las plantas testigo. Como se observa en la Figura 9, en ambos tratamientos el peso de los racimos enfermos fue inferior al de los sanos, representando entre el 11 y el 15 % del peso total por planta.

Figura 9

Peso de racimos sanos y enfermos de los tratamientos testigo y deshoje pre apical



Como se mencionó previamente en el apartado 3.1, las precipitaciones registradas durante el período de maduración de la uva representaron el 33 % del total acumulado en el ciclo de la vid (421 mm). Estas lluvias provocaron roturas en las bayas, como se

observa en la Figura 10, lo que favoreció la aparición de *Botrytis cinerea*, agente causal de la enfermedad fúngica conocida como Podredumbre Gris (Gepp et al., 2012). Es importante destacar que los racimos enfermos fueron descartados durante el procesamiento de la uva para las vinificaciones.

Figura 10

Podredumbre Gris en bayas de plantas analizadas



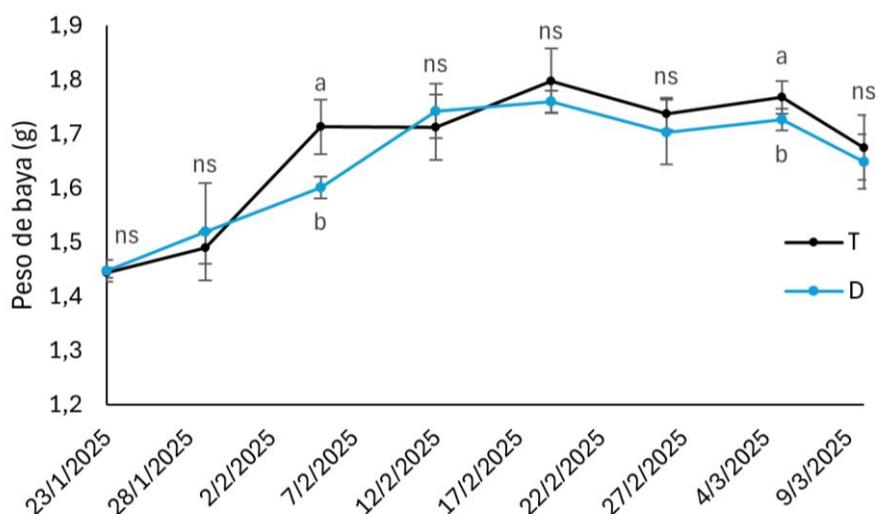
Nota. Foto tomada el 5 de marzo de 2025.

3.4. Evolución de la composición de la uva

El seguimiento de la maduración, realizado desde el envero hasta la cosecha sobre uvas de los tratamientos testigo (T) y deshoje pre apical (D) se presentan en las Figuras 11, 12, 13, 14 y 15.

Figura 11

Evolución del peso de baya durante la maduración de la uva



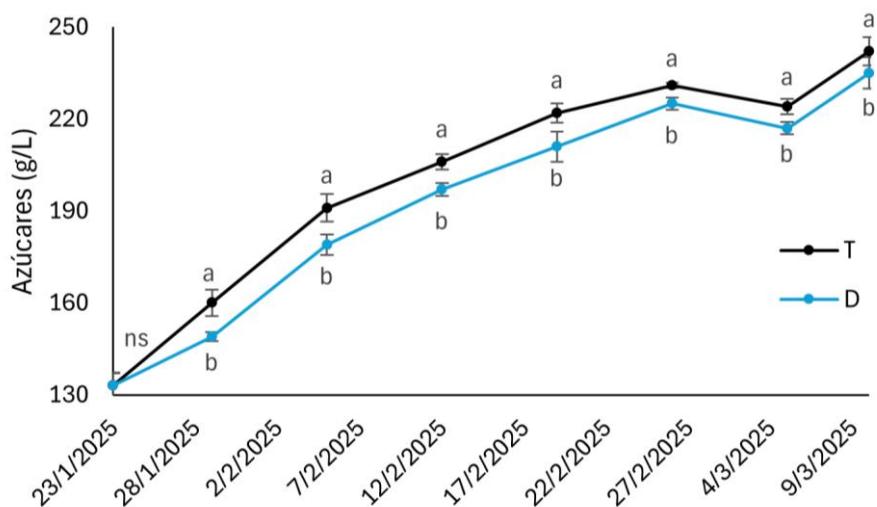
Nota. Medias con distinta letra indican diferencias significativas ($p<0.05$). ns refiere a diferencias no significativas. T= Testigo, D= Deshoje pre apical.

Como se muestra en la Figura 11, el peso de la baya aumentó durante enero y principios de febrero, estabilizándose luego entre 1,6 y 1,8 gramos hasta la cosecha, lo

cual coincide con lo descrito por Keller (2020). Asimismo, concuerda con lo reportado por Fourment et al. (2013), quienes obtuvieron un peso de baya al momento de cosecha de 1,6 gramos para la serie de años estudiada. Las variaciones observadas entre las fechas podrían atribuirse a las precipitaciones ocurridas durante el período de maduración, ya que el aumento de disponibilidad hídrica en esta etapa puede incrementar el contenido de agua en el fruto y, por lo tanto, el peso de la baya (Bonada et al., 2021; Deloire & Pellegrino, 2021). Se detectaron diferencias significativas entre tratamientos el 5 de febrero y el 5 de marzo; sin embargo, al momento de la cosecha, estas diferencias no fueron estadísticamente significativas, lo que sugiere que el crecimiento de la baya no fue afectado de manera significativa por el deshoje pre apical. Este mismo comportamiento fue observado por Vercesi et al. (2024), quienes tampoco reportaron efectos del deshoje pre apical sobre el peso final de la baya.

Figura 12

Evolución de los azúcares (g/L) durante la maduración de la uva



Nota. Medias con distinta letra indican diferencias significativas ($p<0.05$). T=Testigo, D=Deshoje pre apical.

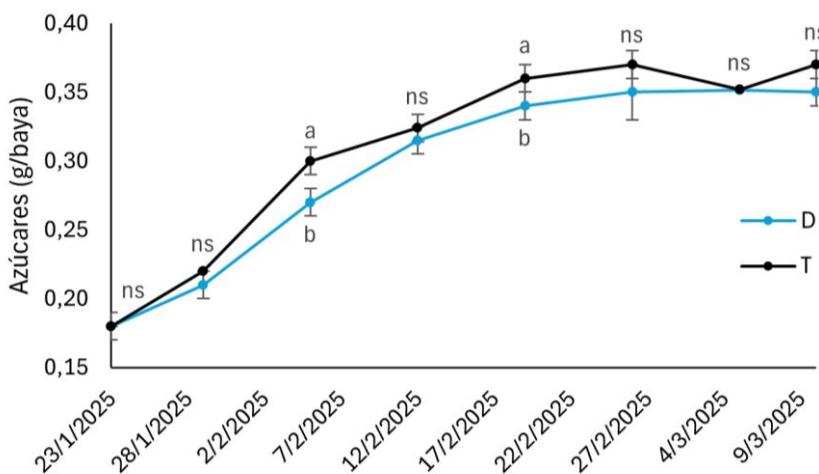
En relación a la concentración de azúcares de la uva (Figura 12), a partir de la semana posterior a la implementación del manejo de la canopia (22 de enero - E-L 36) y hasta el momento de la cosecha, se registraron diferencias estadísticamente significativas entre tratamientos. En todos los casos, el tratamiento con deshoje pre apical (D) presentó concentraciones de azúcares inferiores en comparación con el testigo (T), atribuibles a la reducción del área foliar activa, lo que disminuye la relación fuente-fosa respecto a las plantas testigo (Cataldo et al., 2021). Según Vercesi et al. (2024), esta menor acumulación de azúcares en las bayas se debe a una reducción en la producción y translocación de fotoasimilados hacia los racimos. Las diferencias de

concentración oscilaron entre 7 y 12 g azúcares/L, lo que se traduce en una disminución estimada del alcohol probable de entre 0,4 y 0,7 % v/v.

La disminución en la concentración de azúcares observada el 5 de marzo puede explicarse por un aumento en el tamaño de las bayas debido a la absorción de agua (Iland et al., 2024), como consecuencia de lluvias intensas (cercanas a los 45 mm en un solo día) ocurridas en fechas próximas al análisis. Esta condición hídrica provocó una dilución de los azúcares previamente acumulados. Por el contrario, cuando el peso de la baya disminuye debido a la fase de estancamiento en el crecimiento del fruto o como respuesta a factores climáticos y al estado hídrico de la planta, la concentración de azúcares tiende a incrementarse. Este fenómeno se atribuye a un efecto de concentración del soluto y no a una mayor acumulación de azúcares (Iland et al., 2024). En la Figura 13 se puede observar esta dinámica, donde la acumulación de azúcares se expresa en función del peso de la baya. El 10 de marzo, se registró una disminución en el peso de la baya, acompañada de un aumento en la concentración de azúcares, lo que puede atribuirse al mencionado efecto de concentración. En cuanto a la cantidad de azúcares por baya, los valores obtenidos se encuentran dentro del rango reportado por Ferrer et al. (2014) para la variedad Tannat, entre 0,31 y 0,41 g/baya.

Figura 13

Evolución de los azúcares (g/baya) durante la maduración de la uva



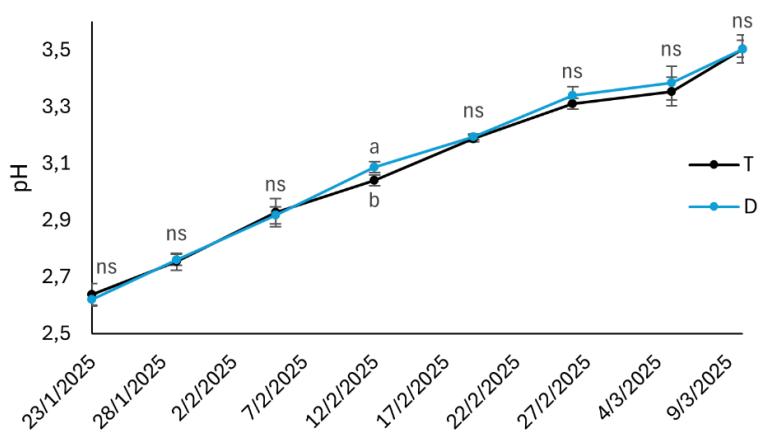
Nota. Medias con distinta letra indican diferencias significativas ($p<0.05$). ns refiere a diferencias no significativas. T=Testigo, D=Deshoje pre apical.

En cuanto a la evolución del pH y la acidez total durante la maduración de la uva, se observó un aumento progresivo del pH y una disminución de la acidez total (Figura 14 y 15). La reducción en los niveles de acidez de la uva puede atribuirse a procesos fisiológicos como la respiración, la degradación y la salificación de los ácidos que

ocurren dentro de la baya durante el proceso de maduración (Poni et al., 2018; Rienth et al., 2021).

Figura 14

Evolución del pH durante la maduración de la uva

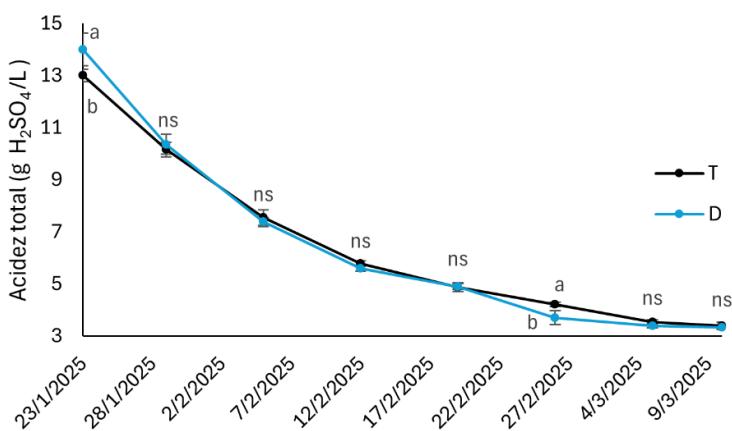


Nota. Medias con distinta letra indican diferencias significativas ($p<0.05$). ns refiere a diferencias no significativas. T= Testigo, D= Deshoje pre apical.

Los valores obtenidos no presentaron diferencias significativas entre tratamientos, lo que indica que el deshoje pre apical no logró reducir el pH de la uva. La acidez total y el pH registrado en los análisis ceranos al momento de cosecha coincide con lo reportado por Fourment et al. (2017) en el cual la acidez total se encuentre entre 4 y 6 g H₂SO₄/L y el pH entre 3,3 y 3,6.

Figura 15

Evolución de la acidez total durante la maduración de la uva



Nota. Medias con distinta letra indican diferencias significativas ($p<0.05$). ns refiere a diferencias no significativas. T= Testigo, D= Deshoje pre apical.

3.5. Composición de la uva en cosecha

Al momento de la cosecha, la composición primaria de las uvas en ambos tratamientos fue consistente con los resultados obtenidos durante el seguimiento de maduración y concuerda con los datos reportados para la variedad Tannat por Ferrer et al. (2014, 2020) y Fourment et al. (2013). Esto indica que los resultados de este estudio reflejan condiciones similares a las observadas en contextos agroclimáticos comparables.

Las uvas correspondientes al tratamiento D presentaron una menor concentración de azúcares ($226 \pm 2,31$ g/L), resultando en un menor alcohol probable en comparación con las uvas del tratamiento T ($236 \pm 1,73$ g/L), representando una diferencia del 4,2%. No se observaron diferencias estadísticamente significativas en los valores de acidez total ni de pH (Tabla 3). Esto último concuerda con el estudio realizado por Pallotti et al. (2025), quienes no encontraron diferencias significativas en el pH de las uvas de Cabernet Sauvignon sometidas a deshoje pre apical. Por otra parte, el comportamiento observado tanto en los niveles de azúcares como en la acidez coincide con lo reportado por Vercesi et al. (2024), quienes evaluaron la técnica de deshoje pre apical en la variedad Sangiovese. Sin embargo, al comparar con los resultados de Zhang et al. (2017) en la variedad Syrah, y Poni et al. (2013) en la variedad Sangiovese, se observa que la concentración de azúcares también fue ligeramente más baja en el tratamiento con deshoje pre apical, pero a diferencia de nuestro estudio, la acidez sí varió significativamente en ambas investigaciones, siendo el tratamiento con deshoje pre apical el que presentó la menor acidez en Zhang et al. (2017) y el de mayor acidez en Poni et al. (2013).

La disminución en la concentración de azúcares en la uva, como se explicó en el apartado 3.4, se debe principalmente a la reducción del área foliar activa, lo que conlleva una menor relación fuente-fosa. Como indican Poni et al. (2023), a lo largo de la temporada la funcionalidad de las hojas se desplaza hacia la parte superior de los brotes, ya que las hojas en la parte inferior tienden a ser más viejas. De esta manera, las hojas pre apicales son fotosintéticamente activas, por lo que su eliminación reduce la cantidad de fotoasimilados disponibles para ser transportados hacia las bayas (Poni et al., 1994). Asimismo, este comportamiento puede estar vinculado a la reducción en la producción de ácido abscísico (ABA), que se sintetiza dentro de los cloroplastos y es un reconocido promotor de la maduración en las uvas (Coombe & Hale, 1973). Además, durante la maduración de la uva, el crecimiento vegetativo disminuye, ya que la planta enfoca sus recursos en el desarrollo del fruto, lo que limita la formación de nuevas hojas. Es importante considerar que las plantas de vid en este estudio están injertadas sobre

el portainjerto 101.14 MGt, el cual confiere como se nombró anteriormente, un menor vigor a la parte aérea (Keller, 2020). Este factor también contribuye a la limitada capacidad de desarrollo vegetativo, impidiendo que la planta compense la pérdida de área foliar tras el deshoje pre apical realizado en el envero (Cataldo et al., 2021).

Tabla 3

Composición primaria de la uva en cosecha según tratamiento

Tratamiento	Testigo	Deshoje pre apical
° Brix	23,9 ± 0,12 a	23,1 ± 0,12 b
Azúcares (g/L)	236 ± 2 a	226 ± 2 b
Alcohol probable (% v/v)	13,1 ± 0,12 a	12,6 ± 0,12 b
pH	3,58 ± 0,01 a	3,59 ± 0,04 a
Acidez total (g H ₂ SO ₄ /L)	3,95 ± 0,06 a	3,99 ± 0,06 a

Nota. Medias con distinta letra indican diferencias significativas (p<0.05).

En relación con la composición fenólica de la uva en el momento de la cosecha, la concentración de antocianos obtenida en este estudio se encuentra dentro del rango reportado por Fourment et al. (2017), entre 1300 y 2260 mg/L.

La eliminación de las hojas basales aumenta la exposición de las uvas, incrementando el contenido de antocianos y polifenoles, además de reducir la humedad (Cataldo et al., 2021). En cambio, la eliminación de las hojas pre apicales previene la sobreexposición, moderando la acumulación de azúcares y retrasando la maduración de las bayas (Vercesi et al., 2024; Zhang et al., 2017). En este sentido y al igual que lo reportado por los autores anteriores y Poni et al. (2013), no se observaron diferencias significativas en el índice de polifenoles totales (entre 208 y 213) ni en el contenido de taninos (entre 7256 y 7480 mg/L) entre los tratamientos evaluados. Sin embargo, sí se detectaron diferencias en la concentración de antocianos (Tabla 4), siendo el tratamiento T el que presentó el mayor contenido (2231 ± 19 mg/L). El tratamiento D no logró mantener niveles similares de antocianos (2050 ± 49 mg/L), presentando una diferencia de 8,1% con el testigo. Si bien una mayor exposición puede promover su acumulación (Tessarin et al., 2018), una reducción en su contenido puede deberse tanto a una subexposición como a una sobreexposición de los racimos (Mori et al., 2007). Una posible hipótesis para explicar este resultado es la reducción de la protección foliar en la parte superior del racimo, lo que altera el microclima y aumenta la exposición directa a la radiación solar. Según Vercesi et al. (2024) y Nicholas et al. (2011), esta mayor exposición puede generar estrés en las bayas, afectando la biosíntesis y acumulación de antocianos. En el trabajo de Zhang et al. (2017) indican que el deshoje pre apical disminuye la expresión de genes clave involucrados en la ruta metabólica responsable

de la producción de antocianos, afectando directamente su síntesis. Asimismo, Mori et al. (2007) y Tarara et al. (2008) destacan que tanto la luz como la temperatura son factores determinantes en la producción de antocianos, y que su exceso o déficit puede disminuir su concentración. El estrés térmico y la exposición solar pueden aumentar ciertos metabolitos secundarios, pero también pueden degradar los antocianos si las temperaturas son excesivamente altas (Rienth et al., 2021).

Tabla 4

Composición fenólica de la uva en cosecha según tratamiento

Tratamiento	Testigo	Deshoje pre apical
Antocianos (mg/L)	2231 ± 19 a	2050 ± 49 b
Taninos (mg/L)	7256 ± 156 a	7480 ± 253 a
Índice polifenoles totales (A280)	208 ± 6 a	213 ± 11 a

Nota. Medias con distinta letra indican diferencias significativas ($p<0.05$).

En relación con los parámetros cromáticos presentados en la Tabla 5, al momento de la cosecha, el mosto proveniente de las uvas del tratamiento D mostró una menor intensidad colorante ($0,28 \pm 0,02$) en comparación con el tratamiento T ($0,42 \pm 0,04$), lo que se corresponde a valores superiores de luminosidad y menores de cromaticidad. En consecuencia, las uvas del tratamiento T se caracterizaron por presentar un color más oscuro, menor luminosidad y mayor intensidad colorante.

Tabla 5

Parámetros cromáticos del mosto de uva en cosecha

Tratamiento	Testigo	Deshoje pre apical
Tonalidad	1,04 ± 0,02 a	1,02 ± 0,03 a
Intensidad colorante	0,42 ± 0,04 a	0,28 ± 0,02 b
Luminosidad (L*)	78,6 ± 1,7 b	85,0 ± 1,0 a
Cromaticidad (C*)	18,0 ± 0,6 a	13,9 ± 0,8 b
Tono (H*)	30,8 ± 1,3 a	28,2 ± 4,9 a
a*	15,5 ± 0,6 a	12,2 ± 1,2 b
b*	9,21 ± 0,28 a	6,53 ± 0,79 b

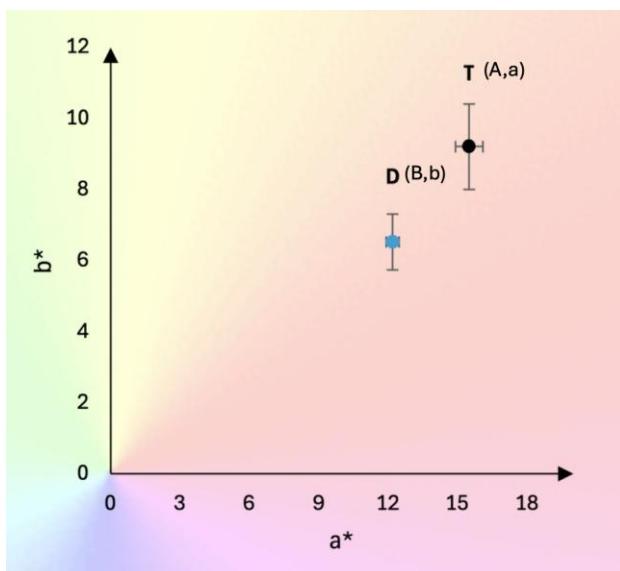
Nota. Medias con distinta letra indican diferencias significativas ($p<0.05$). Para la obtención de los datos se utilizó el software MCSV (Grupo de color, 2012).

Asimismo, en cuanto a las coordenadas CIELab, se observaron diferencias significativas entre ambos tratamientos: el tratamiento D presentó valores más bajos de a* (menos rojo) y b* (menos amarillo) en comparación con el tratamiento T (Tabla 4 y Figura 16). Estas diferencias pueden atribuirse a la menor concentración de antocianos

en las uvas del tratamiento D, ya que estos pigmentos son los principales responsables del color en uvas tintas (Illand et al., 2024).

Figura 16

Coordenadas CIELab de la uva en cosecha



Nota. Medias en mayúscula con distinta letra indican diferencias significativas en a* ($p<0.05$) y medias en minúscula con distinta letra indican diferencias significativas en b* ($p<0.05$). T= Testigo, D= Deshoje pre apical. Para la obtención de los datos se utilizó el software MCSV (Grupo de color, 2012).

3.6. Composición de los mostos

3.6.1. Mosto y vino de uva inmadura previo a la sustitución

La técnica enológica evaluada para disminuir el contenido de alcohol y el pH del vino consistió en la sustitución, luego del encubado, de mosto maduro por mosto o vino elaborado a partir de uva inmadura (VSM y VSV, respectivamente). La cosecha de uva inmadura se llevó a cabo en enero, el 8 de febrero de 2025 (E-L 36).

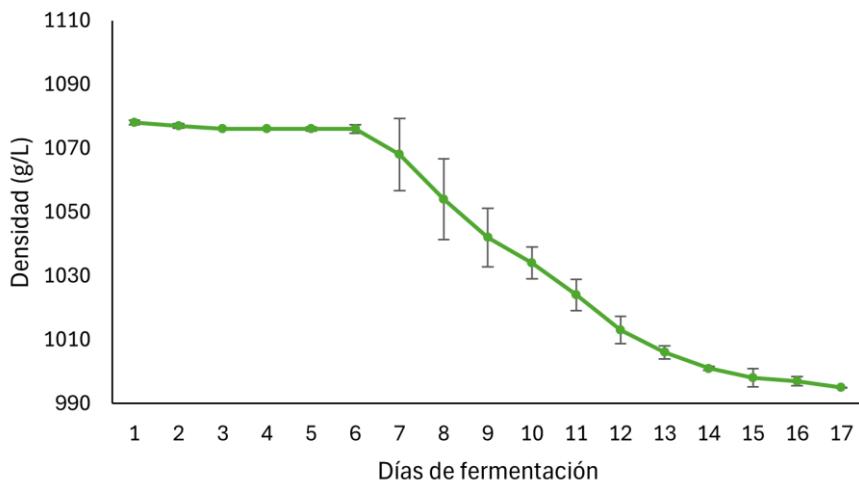
El mosto de uva inmadura fue sulfitado y conservado a bajas temperaturas, lo que permitió evitar el inicio de la fermentación hasta el momento de su utilización en la sustitución. Este es un aspecto relevante desde el punto de vista microbiológico, ya que asegura la estabilidad del mosto y evita desviaciones fermentativas. Según Giacosa et al. (2019), la adición de anhídrido sulfuroso junto con la refrigeración permite inhibir el desarrollo de microorganismos indeseables, estabilizando el mosto hasta el momento deseado para iniciar la fermentación.

En cuanto al vino elaborado a partir de uva inmadura, su cinética fermentativa se representa en las Figuras 17 y 18. Se realizó un seguimiento diario de la densidad y la

temperatura del mosto-vino con el fin de evaluar el desarrollo del proceso fermentativo. Se observó que la fermentación alcohólica tuvo un inicio lento, evidenciado por la ausencia de disminución en la densidad hasta el séptimo día después de la inoculación con levaduras comerciales. Este comportamiento podría atribuirse a la elevada acidez y el bajo pH del medio (Tabla 5), condiciones poco favorables para la viabilidad y actividad de las levaduras. Estudios han mostrado que en condiciones de pH iniciales bajos como 2,5 a 2,8 las levaduras producen una prolongación de la fase de latencia, un consumo más lento de azúcares y una menor producción de etanol, afectando así el inicio y curso de la fermentación (Liu et al., 2015). Asimismo, en determinados casos es necesario suplementar los mostos con compuestos nitrogenados, especialmente cuando ocurre una detención de la fermentación o cuando los mostos han sido sometidos a procesos como el desfangado, lo cual puede reducir significativamente su contenido nutricional. No obstante, pese a la suplementación y a que el mosto desfangado presentaba valores de turbidez entre 240 y 255 NTU (considerados aceptables según Velázquez et al., 2015), las condiciones del medio continuaron limitando la velocidad inicial de la fermentación.

Figura 17

Seguimiento de la densidad del mosto proveniente de uva inmadura durante la fermentación alcohólica

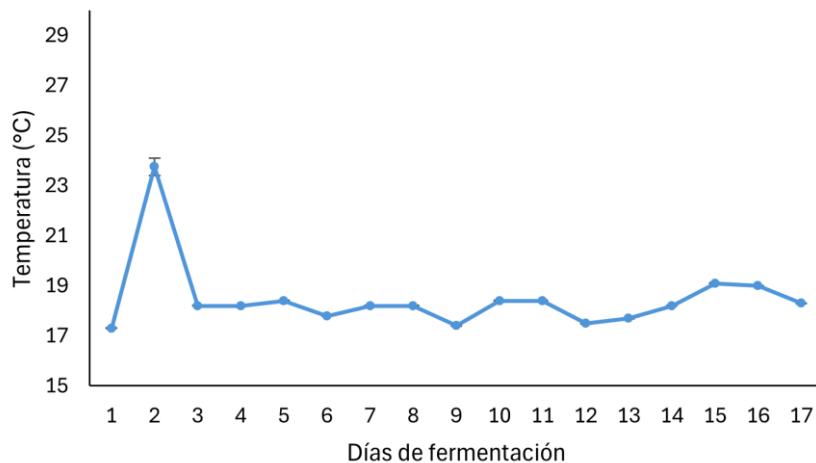


La temperatura de fermentación se mantuvo de forma controlada en torno a los 18 °C. Como se muestra en la Figura 18, durante el segundo día de fermentación se incrementó la temperatura del mosto con el objetivo de estimular el inicio del proceso fermentativo. Esta es una práctica que probablemente contribuyó a reactivar la actividad metabólica de las levaduras y facilitar su adaptación al medio. Según Beltran et al. (2008), un aumento moderado de la temperatura en las fases iniciales puede favorecer

la multiplicación de las levaduras y acelerar el inicio de la fermentación alcohólica. Una vez superada esta fase inicial, la fermentación del vino de uva inmadura se desarrolló de manera completa, finalizando en un plazo de 10 días. Este resultado indica que, si bien el ambiente fermentativo fue hostil en los primeros días, las levaduras fueron capaces de colonizar el medio y completar la transformación de los azúcares en alcohol.

Figura 18

Seguimiento de la temperatura del mosto proveniente de uva inmadura durante la fermentación alcohólica



En la Tabla 6 se presenta la composición del mosto y del vino elaborados a partir de uva inmadura utilizados en las sustituciones. El mosto se caracterizó por una concentración de azúcares de 166 g/L, lo que corresponde a un alcohol probable de 9,23 % v/v. En cuanto al vino de uva inmadura, el contenido alcohólico final fue de 10,4 % v/v. La diferencia observada entre el alcohol probable y el alcohol real puede atribuirse a factores como la precisión limitada de la estimación refractométrica y la producción de otros metabolitos, como glicerol o ácidos orgánicos, a partir de azúcares fermentables (Plugatar et al., 2023). Es importante destacar que no se realizó fermentación maloláctica, lo cual se ve reflejado en los contenidos de ácido málico y láctico.

La acidez volátil del vino fue de 0,37 g/L, valor que indica una fermentación alcohólica adecuada y una baja producción de ácido acético. Este resultado sugiere una conducción controlada del proceso fermentativo, sin presencia significativa de desviaciones microbianas. Concentraciones inferiores a 0,7 g/L no suelen ser detectadas sensorialmente ni generan aromas negativos como vinagre o acetona, por lo que el nivel obtenido en este caso se encuentra dentro del rango considerado aceptable para vinos de calidad (Australian Wine Research Institute [AWRI], 2018).

Tanto el mosto como el vino de uva inmadura presentaron una elevada acidez y bajo pH, características atribuibles a la cosecha temprana de la uva en estado de envero. Durante esta fase, las bayas aún no han acumulado suficientes azúcares, manteniéndose con alta concentración de ácidos orgánicos (Fia et al., 2022).

En relación con la composición fenólica, se observaron contenidos bajos de antocianos, taninos y polifenoles totales en ambos productos. Esto se debe, por un lado, a la técnica enológica utilizada, que implicó un contacto mínimo entre las partes sólidas de la baya (hollejos y semillas) y la fracción líquida, limitando así la extracción de compuestos fenólicos. Como señala Sacchi et al. (2005), la maceración breve o nula propia de la elaboración de mosto con contacto reducido implica que la extracción de antocianos y taninos sea limitada, afectando la composición cromática y fenólica del vino. Por otro lado, el bajo grado de maduración de la uva también influye, ya que en los primeros estados de desarrollo las bayas poseen naturalmente una menor cantidad de compuestos fenólicos, debido a que la síntesis y acumulación de estos compuestos se intensifica hacia el final del proceso de maduración (Ribéreau-Gayon, Dubourdieu et al., 2003). También se debe tener en cuenta que, las paredes celulares de los hollejos al comienzo del período de maduración son más gruesas y compactas, ricas en celulosa y pectinas insolubles, lo que reduce su permeabilidad y limita la liberación de compuestos fenólicos y pigmentos al mosto. Con la madurez, la degradación enzimática adelgaza estas estructuras, facilitando la extracción durante la vinificación (Peynaud, 1999).

Tabla 6

Composición básica, fenólica y cromática del mosto y vino provenientes de uva inmadura

Tratamiento	Mosto de uva inmadura	Vino de uva inmadura
Composición básica		
° Brix	17,6 ± 0,01	-
Azúcares (g/L)	166 ± 1	-
Alcohol probable (% v/v)	9,23 ± 0,06	-
pH	2,77 ± 0,01	2,85 ± 0,00
Acidez total (g H ₂ SO ₄ /L)	7,65 ± 0,01	8,43 ± 0,00
Etanol (%v/v)	-	10,4 ± 0,00
Ácido málico (g/L)	-	6,07 ± 0,06
Ácido láctico (g/L)	-	0,10 ± 0,00
Acidez volátil (g ac. acético/L)	-	0,37 ± 0,00
Composición fenólica		
Antocianos (mg/L)	9,52 ± 3,16	16,6 ± 0,8
Índice DMACH	13,8 ± 0,3	8,62 ± 0,12
Índice polifenoles totales (A280)	6,47 ± 0,12	5,47 ± 0,25
Polifenoles totales (mg/L)	-	144 ± 3
Parámetros cromáticos		
Tonalidad	1,51 ± 0,01	0,80 ± 0,02
Intensidad colorante	0,70 ± 0,0	0,30 ± 0,01
Luminosidad (L*)	96,7 ± 0,1	98,4 ± 0,1
Cromaticidad (C*)	3,43 ± 0,0	2,0 ± 0,0
Tono (H*)	73,1 ± 0,7	24,0 ± 1,0
a*	0,99 ± 0,04	1,8 ± 0,0
b*	3,28 ± 0,02	0,80 ± 0,04

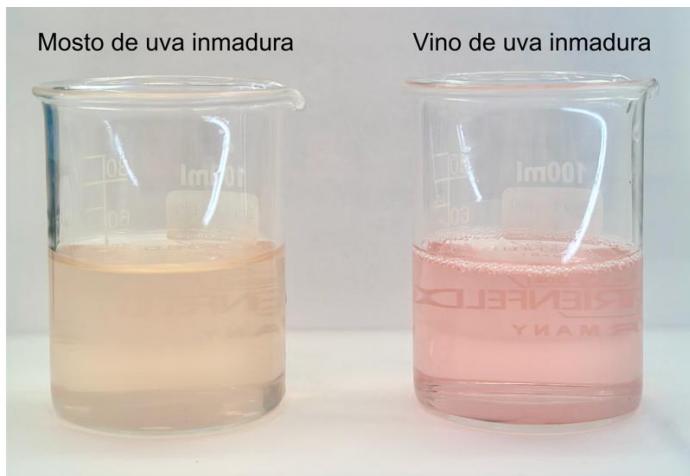
Nota. Para la obtención de los datos se utilizó el software FOSS Integrator (FOSS Analytical Solutions, s.f.) para la composición básica y MCSV (Grupo de color, 2012) para los parámetros cromáticos.

En términos cromáticos, tanto el mosto como el vino de uva inmadura presentaron baja intensidad colorante y elevada luminosidad. Estas características son coherentes con la escasa extracción de compuestos fenólicos y sugieren que su incorporación al mosto maduro, en el momento de la sustitución, no tendría un impacto significativo sobre el color final del vino. Además, la diferencia en el tono observado (73° en el mosto y 24° en el vino de uva inmadura) refleja una evolución desde un color más claro, cercano al amarillo-verdoso, hacia una tonalidad rojizo-anaranjado, tal como se evidencia en la Figura 19. Sin embargo, la baja intensidad colorante indica que esta variación tonal no

sería suficiente para modificar de manera relevante la percepción cromática del producto final.

Figura 19

Mosto y vino proveniente de uva inmadura



3.6.2. Composición de los mostos luego de la sustitución

La Tabla 7 muestra la composición básica de los mostos tras la sustitución por mosto (VSM) o vino (VSV) elaborados a partir de uva inmadura. Cabe destacar que se realizó una comparación entre todas las técnicas vitícolas y enológicas implementadas para reducir el contenido alcohólico y el pH de los vinos. Por este motivo, también se incluyen los datos correspondientes al mosto obtenido a partir de uvas del tratamiento VD (vinificación del tratamiento deshoje pre apical en viñedo).

Tabla 7

Composición básica de los mostos luego de realizada la sustitución

Tratamiento	VD	VSM	VSV	VT
° Brix	23,1 ± 0,12 b	21,5 ± 0,12 c	16,1 ± 0,12 d	23,8 ± 0,12 a
Azúcares (g/L)	226 ± 2 b	210 ± 1 c	150 ± 1 d	236 ± 2 a
Alcohol probable (% v/v)	12,6 ± 0,1 b	11,6 ± 0,1 c	8,3 ± 0,1 d	13,1 ± 0,1 a
pH	3,59 ± 0,04 a	3,20 ± 0,02 b	3,17 ± 0,03 b	3,58 ± 0,01 a
Acidez total (g H ₂ SO ₄ /L)	3,99 ± 0,06 c	5,36 ± 0,06 b	5,62 ± 0,06 a	3,95 ± 0,06 c

Nota. Medias con distinta letra indican diferencias significativas ($p<0.05$).

VD=Vinificación del tratamiento deshoje pre apical en viñedo, VSM=Vinificación con sustitución por mosto reducidos en azúcares, VSV=Vinificación con sustitución por vino reducido en alcohol, VT=Vinificación tradicional. Para la obtención de los datos se utilizó el software FOSS Integrator (FOSS Analytical Solutions, s.f.).

Con respecto a la concentración de azúcares, se determinaron diferencias estadísticamente significativas entre los tratamientos evaluados. El tratamiento VT,

correspondiente al mosto obtenido de uvas del testigo en campo, presentó la mayor concentración de azúcares. Le siguió el tratamiento VD, que consistió en mosto procedente de uvas sometidas al deshoje pre apical en campo. Los tratamientos que incluyeron la sustitución parcial de mosto maduro (VSM y VSV) mostraron los contenidos más bajos, siendo el tratamiento VSV el que presentó la menor concentración de azúcares. Este resultado es coherente con las características de los productos utilizados en la sustitución: en el tratamiento VSM, se incorporó mosto que se caracteriza por estar en medio acuoso con azúcares; mientras que en el tratamiento VSV se utilizó vino, un medio hidroalcohólico con etanol y bajos niveles de azúcares. Estas diferencias en la concentración de azúcares se reflejan directamente en una diferencia significativa en el contenido de alcohol probable entre los distintos tratamientos evaluados.

En cuanto al pH de los mostos, los tratamientos con sustitución (VSM y VSV) lograron valores significativamente menores en comparación con los tratamientos VT y VD, los cuales no mostraron diferencias significativas entre sí. La acidez total presentó un comportamiento coherente con las variaciones observadas en el pH, siendo el tratamiento VSV el que registró el mayor contenido de acidez, seguido por VSM, mientras que los tratamientos VD y VT presentaron los valores más bajos. Estos resultados evidencian el impacto significativo que tiene la sustitución con mosto o vino de uva inmadura sobre la concentración de azúcares, pH y acidez total en los mostos. En contraste, el deshoje pre apical produjo una reducción en la concentración de azúcares sin influir de manera significativa en el pH.

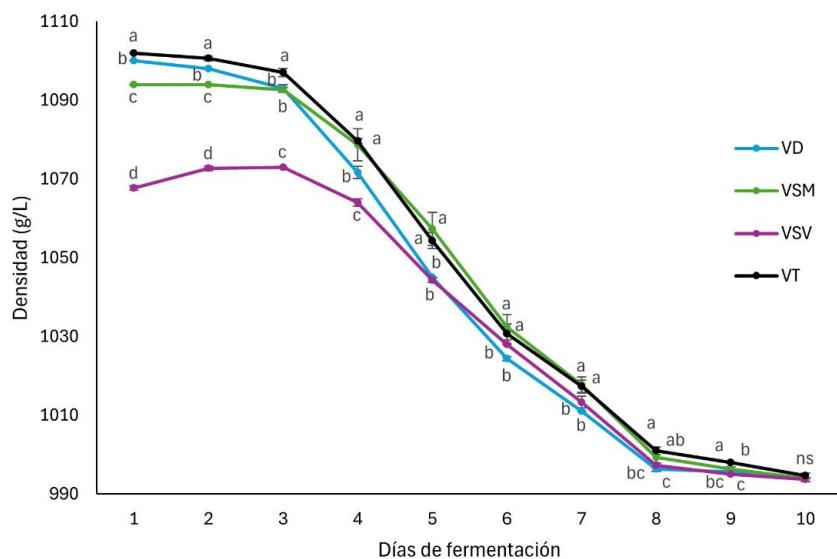
3.6.3. Seguimiento de fermentación

Se realizó un seguimiento diario del proceso de fermentación para los cuatro tratamientos evaluados. Los resultados se presentan en las Figuras 20 a 29, las cuales corresponden a los parámetros registrados: densidad, temperatura, contenido de antocianos y taninos, índice de polifenoles totales, así como las características cromáticas determinadas según el sistema CIELab.

En cuanto al seguimiento de la densidad durante la fermentación alcohólica, se observa en la Figura 20 una disminución progresiva a lo largo del proceso, que se extiende por un total de 10 días. Al inicio de la fermentación, se detectaron diferencias significativas entre los tratamientos, destacándose que el tratamiento VT presentó la mayor densidad, atribuible a su mayor concentración de azúcares, como se mencionó previamente.

Figura 20

Seguimiento de la densidad durante la fermentación alcohólica de los vinos



Nota. Medias con distinta letra indican diferencias significativas ($p<0.05$). ns refiere a diferencias no significativas. VD=Vinificación del tratamiento deshoje pre apical en viñedo, VSM=Vinificación con sustitución por mosto reducidos en azúcares, VSV=Vinificación con sustitución por vino reducido en alcohol, VT=Vinificación tradicional.

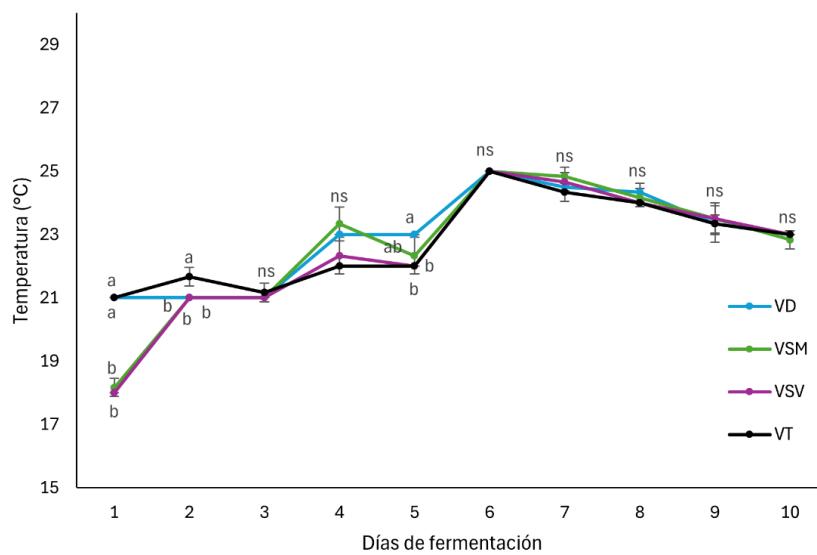
Es importante señalar el comportamiento particular del tratamiento VSV, cuya cinética de densidad presenta un aumento en los días 2 y 3 antes de iniciar el descenso similar al resto de los tratamientos. Aunque la mayoría de los estudios y tratados enológicos, como Hidalgo Togores (2011), describen que la densidad disminuye progresivamente a medida que aumenta la concentración de etanol (debido a que el alcohol es menos denso que el agua), el caso de un mosto que ya contiene alcohol presenta un comportamiento particular. Este aumento momentáneo de densidad no puede atribuirse directamente al contenido alcohólico, sino que se explica por la liberación o suspensión temporal de compuestos sólidos, tales como polisacáridos, proteínas y compuestos fenólicos, que aumentan la densidad aparente del líquido. Estos sólidos pueden provenir de la descomposición de las estructuras de la uva y la actividad metabólica inicial de las levaduras, afectando temporalmente las propiedades físicas del mosto-vino durante los primeros días de fermentación (Sacchi et al., 2005). Dado que la mayoría de la bibliografía clásica se enfoca en fermentaciones partiendo de mostos sin alcohol, este fenómeno particular no está ampliamente documentado, pero la

explicación basada en la suspensión de sólidos es la hipótesis más consistente y respaldada para el aumento temporal de densidad observado.

En lo que respecta a la variación de la temperatura del mosto-vino durante la fermentación (Figura 21), esta se mantuvo en un rango de 18 a 25 °C, considerado óptimo para el desarrollo adecuado de la fermentación alcohólica. Según Schmid et al. (2009), este intervalo térmico permite una buena multiplicación y actividad de las levaduras, lo que favorece una fermentación regular, sin paradas ni desviaciones. Además, dentro de este rango, se optimiza la formación de compuestos aromáticos deseables y se limita la producción de compuestos indeseables, como el ácido acético. De esta manera, el rango de temperaturas de 18 a 25 °C promueve una cinética fermentativa equilibrada, una correcta extracción de compuestos fenólicos, y una adecuada estabilización del color, aspectos fundamentales para la calidad final del vino.

Figura 21

Seguimiento de la temperatura durante la fermentación alcohólica de los vinos



Nota. Medias con distinta letra indican diferencias significativas ($p<0.05$). ns refiere a diferencias no significativas. VD=Vinificación del tratamiento deshoje pre apical en viñedo, VSM=Vinificación con sustitución por mosto reducidos en azúcares, VSV=Vinificación con sustitución por vino reducido en alcohol, VT=Vinificación tradicional.

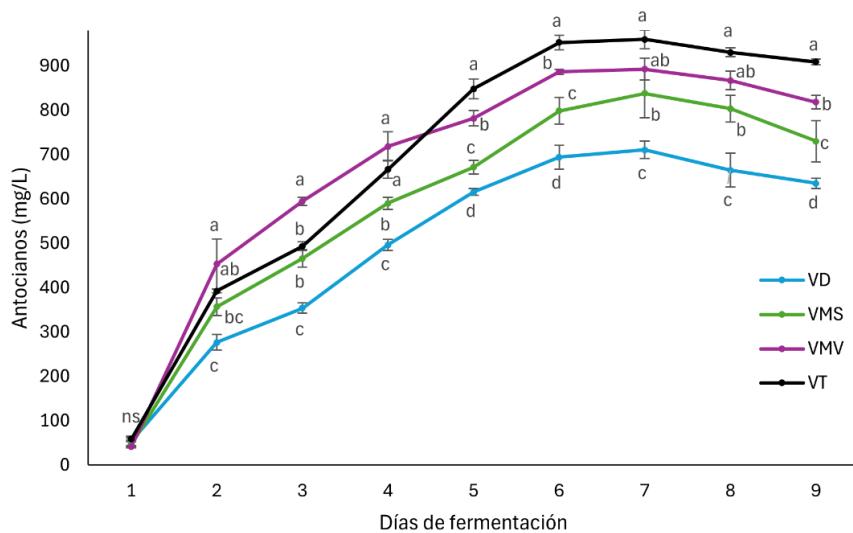
Al inicio del proceso, los tratamientos VSM y VSV presentaron temperaturas iniciales más bajas en comparación con los demás tratamientos, lo cual se atribuye a la incorporación de mosto o vino de uva inmadura que se encontraba a baja temperatura. Las fluctuaciones observadas a lo largo de la fermentación se debieron a variaciones en

las condiciones ambientales, dado que el proceso no se realizó bajo control térmico estricto.

En cuanto a la cinética del contenido de antocianos durante la maceración-fermentación (Figura 22), se observa un comportamiento acorde con lo esperado: un aumento progresivo en su extracción durante los primeros días del proceso, alcanzando un valor máximo entre los días 6 y 7, seguido de un leve descenso. Este patrón ha sido descrito por Zamora (2003), quien señala que los antocianos, localizados exclusivamente en los hollejos, se transfieren al mosto desde las primeras etapas de la maceración debido a su alta solubilidad en medios acuosos. Su concentración alcanza el punto máximo entre los días 6 y 8, para luego disminuir y estabilizarse como resultado de varios fenómenos: reabsorción en las partes sólidas del orujo, precipitación coloidal y degradación por hidrólisis de su estructura molecular. Además, la disminución en el contenido de antocianos también puede atribuirse a la formación de nuevos pigmentos coloreados y más estables, como resultado de procesos de polimerización entre antocianos y taninos (Hermosín Gutiérrez, 2007).

Figura 22

Seguimiento del contenido de antocianos durante la fermentación alcohólica de los vinos



Nota. Medias con distinta letra indican diferencias significativas ($p<0.05$). ns refiere a diferencias no significativas. VD=Vinificación del tratamiento deshoje pre apical en viñedo, VSM=Vinificación con sustitución por mosto reducidos en azúcares, VSV=Vinificación con sustitución por vino reducido en alcohol, VT=Vinificación tradicional.

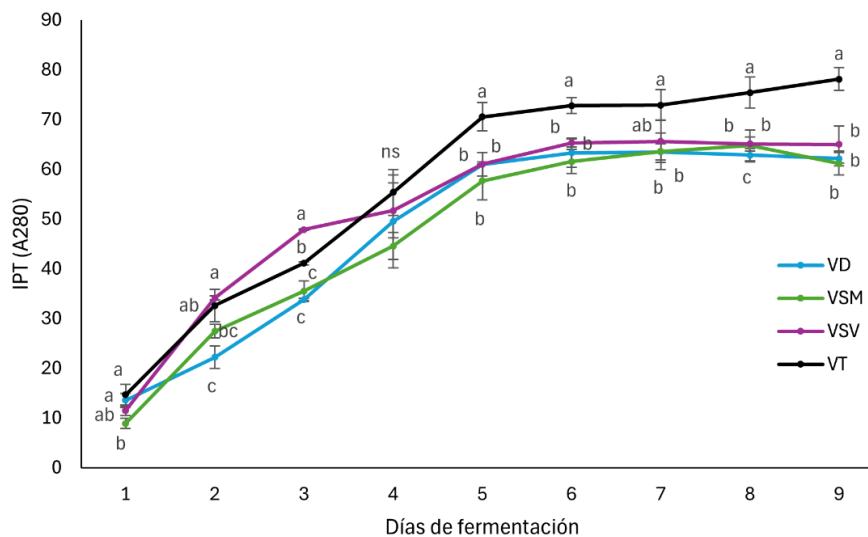
En lo que respecta a los contenidos de antocianos entre tratamientos, se observaron diferencias significativas a lo largo de toda la fermentación. Durante los primeros días, el tratamiento VSV mostró los valores más altos; sin embargo, a partir del día 5, el tratamiento VT superó en concentración a todos los demás y mantuvo dicha superioridad hasta el final del proceso. Al final de la fermentación, el tratamiento VT registró el mayor contenido de antocianos, seguido por VSV, VSM y VD, con diferencias estadísticamente significativas entre ellos. Estos resultados indican que tanto las técnicas de sustitución de mosto como el deshoje pre apical no logran alcanzar los niveles de antocianos obtenidos con el tratamiento VT, lo cual puede tener un impacto negativo en el color del vino.

La cinética de extracción de polifenoles durante la fermentación está determinada por la evolución de los contenidos de antocianos y taninos. Como se muestra en la Figura 23, se midió diariamente el índice de polifenoles totales, observándose en todos los tratamientos un aumento progresivo a lo largo de todo el proceso fermentativo. La extracción de taninos, presentes en hollejos y semillas, ocurre de manera más lenta en comparación con la de los antocianos, tal como lo señala Hidalgo Togores (2011). En las etapas iniciales de la maceración, predominan los taninos extraídos del hollejo. A medida que avanza la fermentación y se produce alcohol, se facilita la extracción de taninos desde las semillas, alcanzándose la concentración máxima de taninos hacia el final del periodo de maceración.

La extracción de polifenoles aumentó en todos los tratamientos; sin embargo, a partir del día 5, el tratamiento VT mostró un índice significativamente mayor, siguiendo la misma tendencia observada en el contenido de antocianos. Al finalizar la fermentación, este tratamiento alcanzó la concentración más alta de polifenoles totales, mientras que los demás no presentaron diferencias significativas entre sí, indicando que no lograron igualar dichos niveles. De esta manera, el potencial fenólico de los tratamientos VSV, VSM y VD fue significativamente menor al VT. Esta diferencia puede atribuirse a la menor concentración de alcohol en el medio en los tratamientos alternativos, ya que el alcohol favorece la solubilización de taninos desde los hollejos y las semillas durante la fermentación (Canals et al., 2005).

Figura 23

Índice de polifenoles totales durante la fermentación alcohólica de los vinos

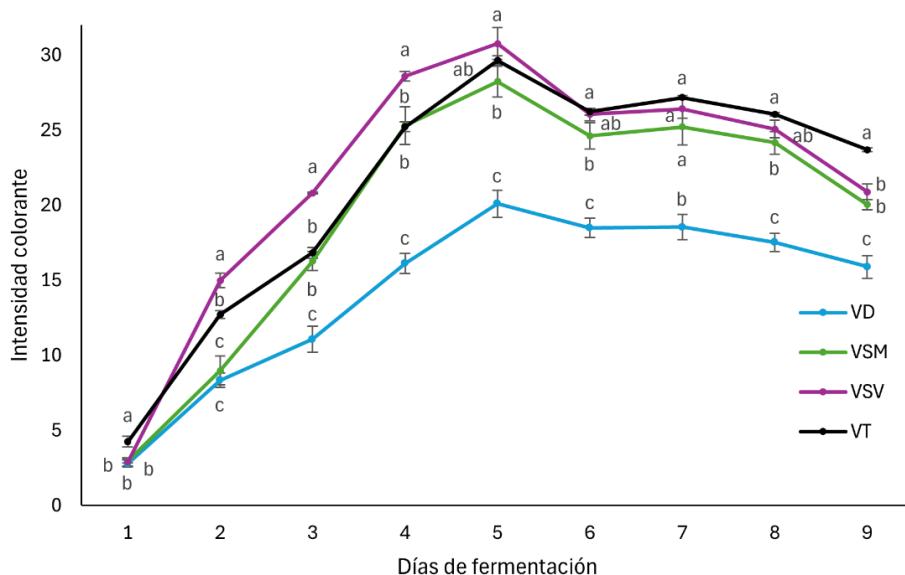


Nota. Medias con distinta letra indican diferencias significativas ($p<0.05$). ns refiere a diferencias no significativas. VD=Vinificación del tratamiento deshoje pre apical en viñedo, VSM=Vinificación con sustitución por mosto reducidos en azúcares, VSV=Vinificación con sustitución por vino reducido en alcohol, VT=Vinificación tradicional.

En cuanto a la evolución del color durante el proceso fermentativo, la Figura 24 muestra cómo varía la intensidad colorante. Según Zamora (2003), esta evolución sigue un patrón similar al de los antocianos, alcanzando su punto máximo entre los días 6 y 8 de maceración. Sin embargo, en los vinos analizados en esta investigación, el valor máximo se observó el día 5. En ese momento, la mayor parte de los antocianos, compuestos responsables del color en los vinos, ya han sido extraídos, lo que generó un aumento significativo en la intensidad colorante. A partir del día 6, la intensidad comienza a disminuir, como consecuencia de la degradación de antocianos libres y copigmentados (Hermosín Gutiérrez, 2007). En cuanto a las diferencias entre tratamientos, estas fueron significativas durante toda la maceración fermentativa. Se destaca el tratamiento VT, en el cual la intensidad colorante fue mayor a partir del día 5. Por el contrario, el tratamiento VD presentó los valores de intensidad colorante más bajos de forma significativa a lo largo de toda la evolución.

Figura 24

Intensidad colorante durante la fermentación alcohólica de los vinos



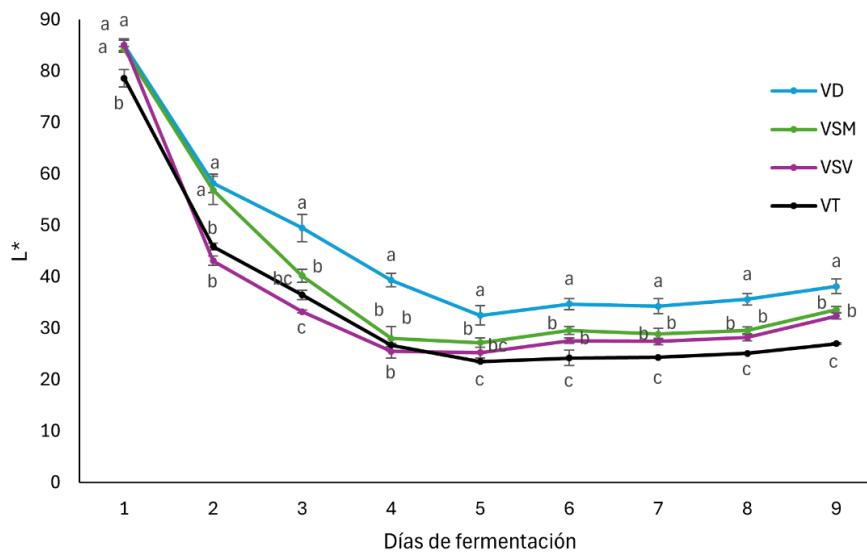
Nota. Medias con distinta letra indican diferencias significativas ($p<0.05$).

VD=Vinificación del tratamiento deshoje pre apical en viñedo, VSM=Vinificación con sustitución por mosto reducidos en azúcares, VSV=Vinificación con sustitución por vino reducido en alcohol, VT=Vinificación tradicional.

En lo que respecta a la luminosidad (L^*) durante el proceso fermentativo de los vinos, se observa, según la Figura 25, una disminución progresiva de la misma, atribuible a la continua extracción de antocianos desde los hollejos, lo que provoca un oscurecimiento del vino a medida que avanza la fermentación.

Figura 25

Luminosidad (L^) durante la fermentación alcohólica de los vinos*



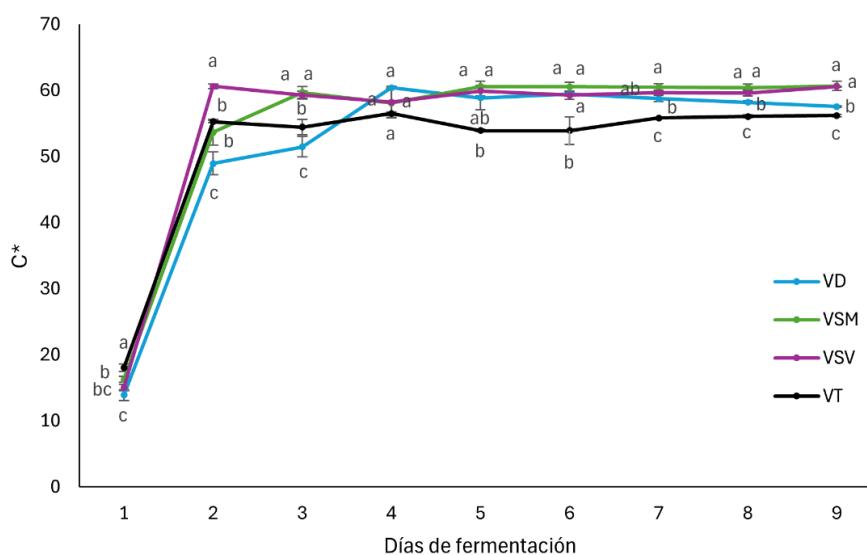
Nota. Medias con distinta letra indican diferencias significativas ($p<0.05$).

VD=Vinificación del tratamiento deshoje pre apical en viñedo, VSM=Vinificación con sustitución por mosto reducidos en azúcares, VSV=Vinificación con sustitución por vino reducido en alcohol, VT=Vinificación tradicional. Para la obtención de los datos se utilizó el software MCSV (Grupo de color, 2012).

La cromaticidad (C^*), que refleja la saturación o intensidad del color, mostró un aumento inicial, alcanzando su valor máximo en el segundo día de fermentación (Figura 26), sin registrar variaciones significativas, lo que indica una estabilización del color extraído.

Figura 26

Cromaticidad (C^) durante la fermentación alcohólica de los vinos*



Nota. Medias con distinta letra indican diferencias significativas ($p<0.05$).

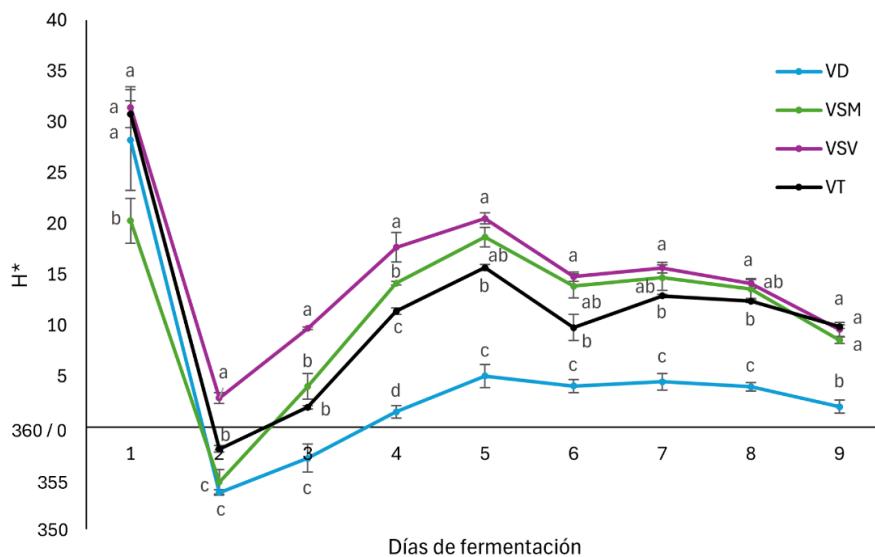
VD=Vinificación del tratamiento deshoje pre apical en viñedo, VSM=Vinificación con sustitución por mosto reducidos en azúcares, VSV=Vinificación con sustitución por vino reducido en alcohol, VT=Vinificación tradicional. Para la obtención de los datos se utilizó el software MSCV (Grupo de color, 2012).

El tono (H^*), representado en la Figura 27, mostró una evolución dinámica a lo largo de la fermentación. Inicialmente, presentó valores entre 20 y 35°, lo que indica un tono rojo-anaranjado característico de las etapas tempranas, cuando la extracción de antocianos recién comienza. Posteriormente, se registró un descenso progresivo hasta valores entre 5 y 35°, lo cual, dentro del círculo cromático, es equivalente a una posición muy próxima al rojo puro. Este comportamiento refleja un aumento en la concentración de antocianos extraídos desde los hollejos. En las etapas posteriores, H^* mostró un aumento con ciertas oscilaciones, lo que sugiere la intervención de procesos de transformación química que afectan el tono del color. Entre estos procesos se encuentran la copigmentación y la formación de componentes estables entre antocianos y taninos, los cuales no solo estabilizan el color, sino que también pueden modificarlo, desplazándolo hacia tonalidades rojo-violáceas o rojo-amarillentas (Hermosín Gutiérrez, 2007). Este tipo de comportamiento del ángulo de tono es coherente con lo esperado en la evolución del color durante la fermentación de vinos tintos, ya que al inicio domina la extracción de pigmentos libres y, en fases avanzadas, prevalecen las reacciones de estabilización. Al finalizar la fermentación, el tratamiento

VD fue el que presentó el valor más bajo de H^* , lo que indica una mayor proximidad al rojo puro dentro del círculo cromático CIELab y corresponde a tonalidades rojo violáceas.

Figura 27

Tono (H^) durante la fermentación alcohólica de los vinos*



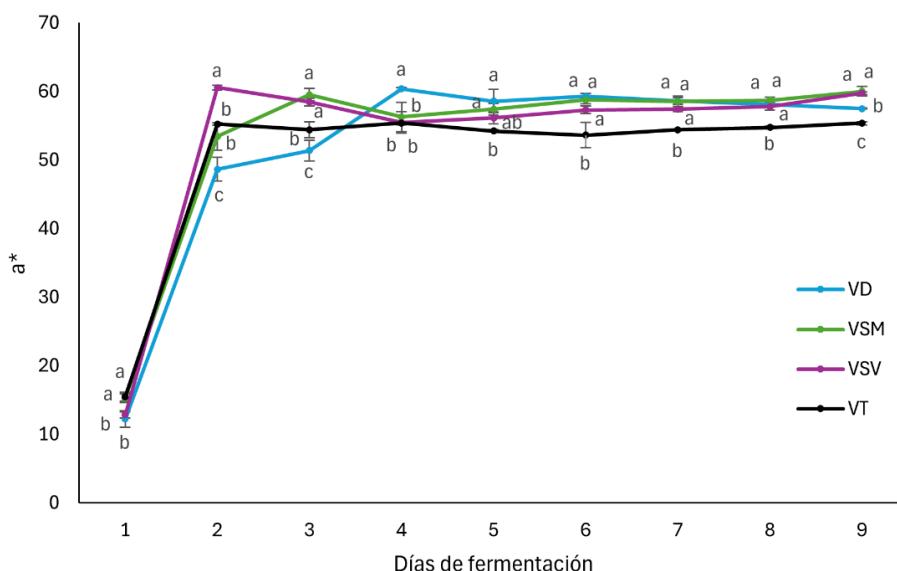
Nota. Medias con distinta letra indican diferencias significativas ($p<0.05$).

VD=Vinificación del tratamiento deshoje pre apical en viñedo, VSM=Vinificación con sustitución por mosto reducidos en azúcares, VSV=Vinificación con sustitución por vino reducido en alcohol, VT=Vinificación tradicional. Para la obtención de los datos se utilizó el software MCSV (Grupo de color, 2012).

En cuanto al componente a^* , representado en la Figura 28, se observó que al inicio de la fermentación los valores eran bajos, cercanos a 10, lo cual indica una tendencia hacia tonalidades rojizas. Sin embargo, a partir del segundo día, los valores de a^* aumentaron significativamente, manteniéndose entre 50 y 60 hasta el final del proceso. Esta evolución refleja una creciente intensificación del componente rojo, coherente con la extracción progresiva de antocianos desde los hollejos durante la fermentación (Zamora, 2003). Al final de la fermentación, los tratamientos VSV y VSM fueron los que presentaron valores más altos en el parámetro a^* , diferenciándose significativamente de VD y VT.

Figura 28

Evolución de a^* durante la fermentación alcohólica de los vinos



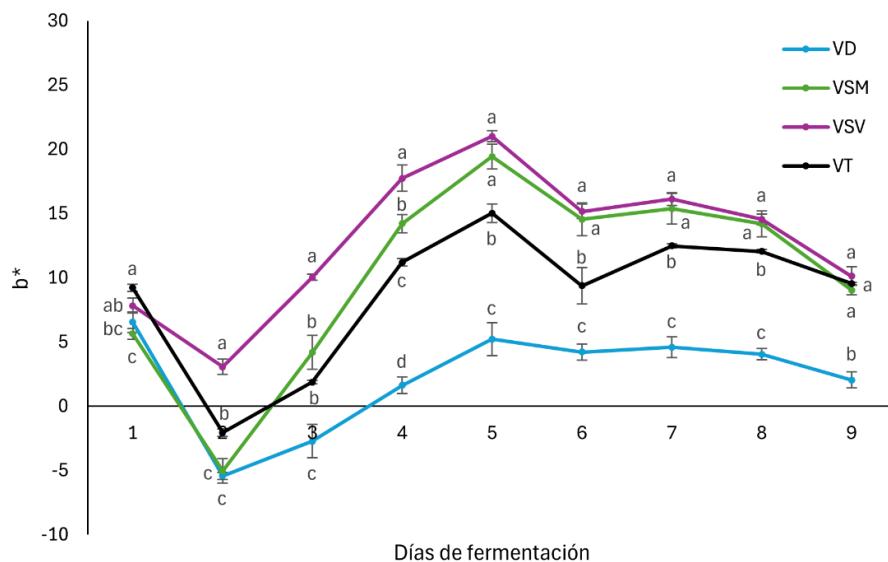
Nota. Medias con distinta letra indican diferencias significativas ($p<0.05$).

VD=Vinificación del tratamiento deshoje pre apical en viñedo, VSM=Vinificación con sustitución por mosto reducidos en azúcares, VSV=Vinificación con sustitución por vino reducido en alcohol, VT=Vinificación tradicional. Para la obtención de los datos se utilizó el software MSCV (Grupo de color, 2012).

Por su parte, el parámetro b^* , que representa la contribución del eje azul-amarillo, mostró una evolución más variable a lo largo de la fermentación (Figura 29). Al inicio, los valores se situaron entre 5 y 10, indicando una leve predominancia de tonalidades amarillas. Luego, el parámetro aumentó, alcanzando un máximo alrededor del día 5 en todos los tratamientos, para posteriormente disminuir hacia el final del proceso. Esta variación puede estar relacionada con cambios en la composición fenólica y con interacciones entre pigmentos y compuestos del mosto, como la formación y degradación de ciertos pigmentos que afectan la tonalidad amarilla (Hermosín Gutiérrez, 2007). Es importante destacar que, al igual que en el caso del parámetro H^* , el tratamiento VD presentó los valores más bajos de b^* durante la fermentación, lo que indica una menor tendencia hacia tonos amarillentos y un perfil cromático más marcado hacia los matices rojo-violáceos.

Figura 29

Evolución de b durante la fermentación alcohólica de los vinos*



Nota. Medias con distinta letra indican diferencias significativas ($p<0.05$).

VD=Vinificación del tratamiento deshoje pre apical en viñedo, VSM=Vinificación con sustitución por mosto reducidos en azúcares, VSV=Vinificación con sustitución por vino reducido en alcohol, VT=Vinificación tradicional. Para la obtención de los datos se utilizó el software MSCV (Grupo de color, 2012).

El análisis del color mediante el sistema CIELab evidenció que la evolución cromática de los vinos durante la fermentación estuvo fuertemente influenciada por la cinética de extracción y transformación de compuestos fenólicos, en particular los antocianos. Como lo señalan Pérez-Magariño y González-Sanjosé (2003), este sistema permite evaluar de forma objetiva y detallada los cambios de color en el vino, especialmente en su intensidad, tonalidad y saturación, siendo una herramienta útil para caracterizar el efecto del proceso de vinificación sobre la expresión cromática. De esta manera, se observaron diferencias entre tratamientos: VT presentó una evolución cromática equilibrada y una buena intensidad de color, mientras que VSM y VSV alcanzaron niveles similares en la mayoría de los parámetros, evidenciando una extracción adecuada. Por su parte, el tratamiento VD, si bien presentó valores más bajos en b^* y H^* , reflejó una tonalidad más próxima al rojo violáceo, pero con menor saturación, lo que refleja una extracción fenólica más limitada.

3.7. Composición de los vinos

Los vinos obtenidos a partir de los cuatro tratamientos fueron analizados para determinar su composición básica, contenido fenólico y parámetros cromáticos.

3.7.1. Composición básica de los vinos

Los resultados de la composición básica de los vinos se presentan en la Tabla 8. El contenido de etanol fue significativamente inferior en los vinos elaborados mediante técnicas utilizadas para su reducción, tanto vitícolas como enológicas, en comparación con el testigo (VT) ($13,7 \pm 0,2$ % v/v). Las menores concentraciones de azúcares registradas en los tratamientos VSV, VSM y VD, como se indicó previamente en la Tabla 6, se tradujeron en una menor formación de etanol durante la fermentación. En particular, los tratamientos que involucraron la sustitución de mosto maduro por mosto (VSM) o por vino (VSV) elaborado con uvas inmaduras alcanzaron los niveles más bajos de etanol ($12,9 \pm 0,2$ % v/v), con una reducción de hasta 0,8 % v/v en comparación con el tratamiento control (VT), lo que representa una disminución del 6 %. Por su parte, el tratamiento VD mostró una reducción del 3 %.

En relación con estos resultados, es relevante considerar los criterios establecidos por la normativa nacional. En Uruguay, según el Decreto n° 283/993 (1993), los vinos se clasifican, entre otras categorías, como vino común y vino de calidad preferente con un grado alcohólico mínimo establecido de 10 y 12 % v/v, respectivamente (INAVI, s.f.). De acuerdo con estos parámetros, los vinos elaborados en los tratamientos VSM, VSV y VD cumplen con los requisitos para ser considerados como vinos de calidad preferente, lo que les permite conservar su valor comercial. Cabe destacar que estas técnicas resultan especialmente adecuadas en temporadas donde las uvas presentan concentraciones elevadas de azúcares, ya que permite mantener un contenido alcohólico superior a 12 % v/v.

En lo referente al pH, únicamente los vinos obtenidos a partir de los tratamientos VSM y VSV registraron valores significativamente inferiores al del tratamiento VT ($3,84 \pm 0,02$), con una reducción aproximada del 6 %. Por el contrario, el tratamiento VD no logró reducir el pH, comportamiento que concuerda con lo reportado por Vercesi et al. (2024) y Zhang et al. (2017), quienes también observaron un efecto limitado de esta técnica sobre la acidez, pero con una reducción efectiva del contenido alcohólico.

Los resultados de los tratamientos VSM y VSV concuerdan con estudios previos sobre técnicas de reducción del grado alcohólico en vinos. Investigaciones como las de Kontoudakis et al. (2011), Rolle et al. (2018), Piccardo et al. (2023), Piccardo, Favre et al. (2019a, 2019b), Piccardo, Gombau et al. (2019), Piccardo, González-Neves et al.

(2019) y Catelén (2022) han demostrado que la sustitución parcial del mosto de uvas maduras por mosto o vino de uvas inmaduras puede disminuir no solo el contenido de etanol, sino también el pH, tal como se observó en los tratamientos VSM y VSV de este estudio.

Respecto a la acidez total, no se detectaron diferencias significativas en comparación con el VT ($4,22 \pm 0,08$ g H₂SO₄/L), con la excepción del tratamiento VSM, que presentó los valores más elevados entre todos los tratamientos evaluados ($4,45 \pm 0,05$ g H₂SO₄/L), lo que representa un aumento del 5,5 % en comparación con el VT. Este resultado coincide con lo reportado por Piccardo, Favre et al. (2019a, 2019b) y Piccardo, González-Neves et al. (2019), quienes aplicaron una técnica similar de sustitución con mosto de uvas inmaduras. En el caso del tratamiento VSV, se esperaba una acidez igualmente elevada, dado que el mosto posterior a la sustitución presentaba la mayor acidez entre todos los tratamientos (ver apartado 3.6.2). No obstante, no se observaron diferencias significativas con el VT, lo que podría explicarse por procesos de precipitación de ácidos orgánicos durante la fermentación, probablemente influenciados por la concentración de cationes en el medio (Mckinnon et al., 1995). De manera similar, Kontoudakis et al. (2011) y Catelén (2022), quienes elaboraron vinos mediante la sustitución de mosto por vino proveniente de uvas inmaduras, observaron un aumento de la acidez en los vinos obtenidos. En contraste, otros estudios como los de Rolle et al. (2018), Piccardo, Gombau et al. (2019) y Piccardo et al. (2023) reportaron una disminución de la acidez total al aplicar técnicas de sustitución con mosto tratado por ósmosis inversa o con mosto de uvas inmaduras, respectivamente. Estas discrepancias podrían explicarse por variaciones en las condiciones de fermentación o por la ya mencionada precipitación de ácidos causada por la concentración de cationes en el medio.

Tabla 8

Composición básica de los vinos correspondientes a los cuatro tratamientos evaluados

Tratamiento	VD	VSM	VSV	VT
Etanol (%v/v)	13,3 ± 0,1 b	12,9 ± 0,2 c	12,9 ± 0,1 c	13,7 ± 0,2 a
pH	3,82 ± 0,03 a	3,63 ± 0,03 b	3,61 ± 0,01 b	3,84 ± 0,02 a
Acidez total (g H ₂ SO ₄ /L)	4,22 ± 0,08 b	4,45 ± 0,05 a	4,28 ± 0,08 b	4,22 ± 0,08 b
Ácido málico (g/L)	3,80 ± 0,18 b	3,77 ± 0,18 b	4,05 ± 0,10 ab	3,65 ± 0,10 b
Ácido láctico (g/L)	0,20 ± 0,18 ab	0,07 ± 0,05 bc	0,00 ± 0,00 c	0,23 ± 0,05 a
Acidez volátil (g ac. acético/L)	0,32 ± 0,02 a	0,24 ± 0,07 bc	0,18 ± 0,02 c	0,28 ± 0,03 ab

Nota. Medias con distinta letra indican diferencias significativas (p<0,05).

VD=Vinificación del tratamiento deshoje pre apical en viñedo, VSM=Vinificación con sustitución por mosto reducidos en azúcares, VSV=Vinificación con sustitución por vino reducido en alcohol, VT=Vinificación tradicional. Para la obtención de los datos se utilizó el software FOSS Integrator (FOSS Analytical Solutions, s.f.).

Se determinó la concentración de ácido málico y ácido láctico con el objetivo de evaluar si ocurrió una fermentación maloláctica espontánea no deseada. Como se muestra en la Tabla 7, no se observaron diferencias significativas en la concentración de ácido málico entre los vinos de los distintos tratamientos evaluados. En cuanto al ácido láctico, las concentraciones fueron bajas (inferiores a 0,23 g/L), lo que indica que las bacterias ácido lácticas presentes en las uvas no desarrollaron actividad significativa en el vino. Esta posible actividad fue inhibida por la adición de sulfitos al finalizar la fermentación alcohólica, ya que estos compuestos tienen una acción inhibidora sobre bacterias (Giacosa et al., 2019; Sacchi et al., 2005).

Asimismo, se determinó la acidez volátil, un parámetro fundamental para evaluar la sanidad del vino. Esta se expresa en términos de concentración de ácido acético, principal componente de la acidez volátil, el cual es generado por bacterias acéticas a partir de la oxidación del etanol en presencia de oxígeno. Esta actividad genera defectos aromáticos característicos, como olor a vinagre, manzana oxidada o disolvente (AWRI, 2018). Las bacterias acéticas pueden provenir tanto de uvas de baja calidad sanitaria como de contaminaciones en bodega derivadas de inadecuadas prácticas de higiene (González et al., 2005).

Los valores de acidez volátil obtenidos se encontraron entre 0,18 y 0,32 g de ácido acético/L, todos por debajo del límite legal establecido en el Decreto n° 103/994 (1994). Los tratamientos VSM y VSV presentaron los valores más bajos, resultados que concuerdan con lo reportado por Piccardo, González-Neves et al. (2019). Estos menores valores se podrían atribuir al uso de mosto o vino proveniente de uvas inmaduras con

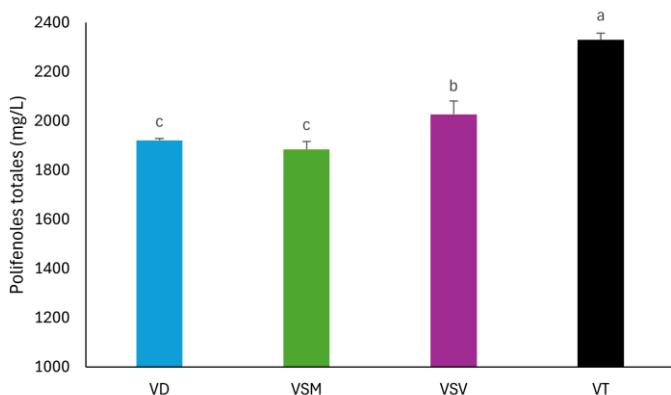
sanidad óptima. Por otro lado, los tratamientos VD y VT fueron elaborados con uvas en estado de madurez tecnológica que, como se detalló en el apartado 3.4, presentaron afectación por *Botrytis cinerea*. Aunque los racimos enfermos fueron descartados durante el procesamiento de la uva, es importante considerar que el hongo puede encontrarse dentro de los racimos sin signos externos, por lo que podría no haber sido detectado e influído en la calidad microbiológica del vino (Gepp et al., 2012).

3.7.2. Composición fenólica de los vinos

Se analizó la composición fenólica de los vinos, considerando los contenidos de polifenoles totales, antocianos y taninos. La cuantificación de los polifenoles totales se llevó a cabo mediante los métodos propuestos por Singleton y Rossi (1965) (Figura 30) y Ribéreau-Gayon (1970) (Figura 31). En ambos métodos de análisis, los vinos correspondientes al tratamiento testigo (VT) presentaron el mayor contenido de polifenoles totales (2329 ± 28 mg/L; índice polifenólico de $73,2 \pm 2,3$), evidenciando diferencias estadísticamente significativas en comparación con los demás tratamientos, con una concentración superior de más del 10%. De acuerdo con los resultados obtenidos mediante el método de Singleton y Rossi (Figura 30), los vinos del tratamiento VSV mostraron una concentración de polifenoles totales significativamente superiores (2027 ± 54 mg/L) a la observada en los tratamientos VSM y VD (1885 ± 33 y 1921 ± 8 mg/L, respectivamente).

Figura 30

Contenido de polifenoles totales en los vinos de los tratamientos evaluados

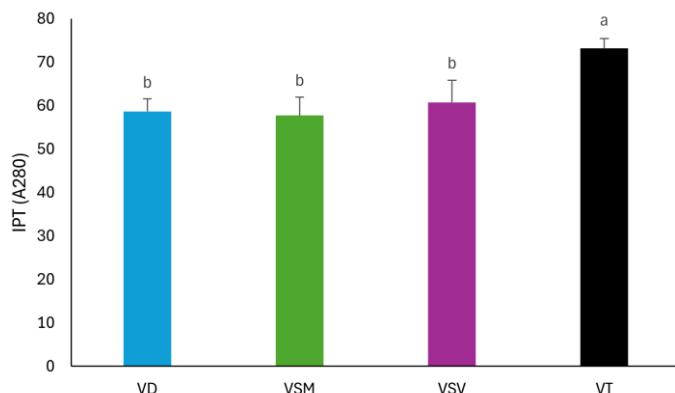


Nota. Medias con distinta letra indican diferencias significativas ($p<0.05$).

VD=Vinificación del tratamiento deshoje pre apical en viñedo, VSM=Vinificación con sustitución por mosto reducidos en azúcares, VSV=Vinificación con sustitución por vino reducido en alcohol, VT=Vinificación tradicional.

Figura 31

Índice de polifenoles totales en los vinos de los tratamientos evaluados



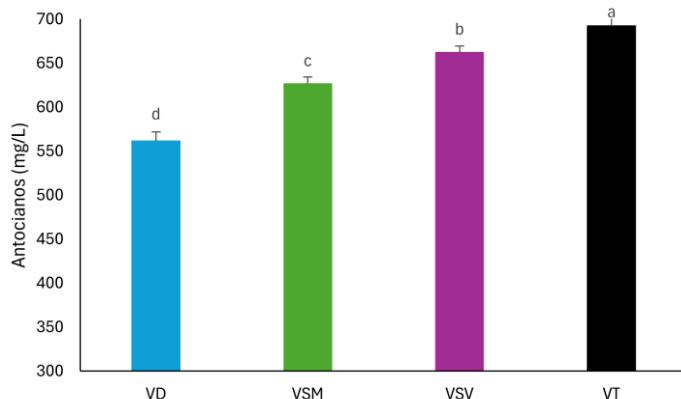
Nota. Medias con distinta letra indican diferencias significativas ($p<0.05$).

VD=Vinificación del tratamiento deshoje pre apical en viñedo, VSM=Vinificación con sustitución por mosto reducidos en azúcares, VSV=Vinificación con sustitución por vino reducido en alcohol, VT=Vinificación tradicional.

En relación con el contenido de antocianos (Figura 32), se observaron diferencias estadísticamente significativas entre todos los tratamientos. El tratamiento testigo (VT) presentó la mayor concentración (692 ± 2 mg/L), seguido por VSV, VSM y VD (662 ± 7 , 626 ± 8 y 561 ± 11 mg/L, respectivamente). Las diferencias entre el tratamiento VD y el VT correspondieron a un 19 %, mientras que las diferencias respecto a los tratamientos VSV y VSM fueron inferiores al 5 % y 10 %, respectivamente. La menor concentración de antocianos en los tratamientos con sustitución de mosto era esperable, dado que en los mismos se eliminó una fracción del mosto procedente de uvas maduras. Considerando que los antocianos se extraen fácilmente de los hollejos durante el procesamiento, es probable que la porción de mosto descartada contuviera una cantidad significativa de estos pigmentos, lo que explicaría la disminución observada. En el caso del tratamiento VD, la menor concentración de antocianos se atribuye al hecho de que la uva presentó un contenido reducido de estos compuestos en comparación con el testigo, como se indicó en el apartado 3.5.

Figura 32

Contenido de antocianos en los vinos de los tratamientos evaluados



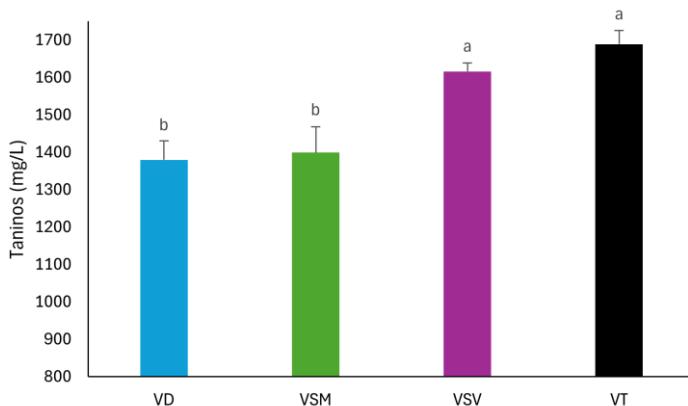
Nota. Medias con distinta letra indican diferencias significativas ($p<0.05$).

VD=Vinificación del tratamiento deshoje pre apical en viñedo, VSM=Vinificación con sustitución por mosto reducidos en azúcares, VSV=Vinificación con sustitución por vino reducido en alcohol, VT=Vinificación tradicional.

El contenido de taninos en los vinos elaborados se presenta en la Figura 33. En ella se observa que los tratamientos VT y VSV mostraron las concentraciones más altas, con valores de 1689 ± 37 y 1616 ± 23 mg/L, respectivamente, sin diferencias estadísticamente significativas entre ambos. En contraste, los tratamientos VSM y VD registraron concentraciones significativamente menores, con reducciones superiores al 15 % en comparación con el tratamiento VT, aunque sin diferencias significativas entre ellos. Esta disminución podría estar asociada al menor contenido de etanol observado en dichos tratamientos, ya que se ha reportado que una menor graduación alcohólica puede dificultar la extracción de taninos durante la fermentación (Canals et al., 2005).

Figura 33

Contenido de taninos en los vinos de los tratamientos evaluados



Nota. Medias con distinta letra indican diferencias significativas ($p<0.05$).

VD=Vinificación del tratamiento deshoje pre apical en viñedo, VSM=Vinificación con sustitución por mosto reducidos en azúcares, VSV=Vinificación con sustitución por vino reducido en alcohol, VT=Vinificación tradicional.

Al analizar la composición fenólica en su conjunto, se observa que los vinos del tratamiento VT presentaron las concentraciones más elevadas de polifenoles totales, antocianos y taninos. En segundo lugar se posicionan los vinos del tratamiento VSV, cuyos valores se aproximan considerablemente a los del testigo. En cambio, los tratamientos VSM y VD mostraron contenidos fenólicos inferiores.

En cuanto a la composición fenólica del tratamiento VD, los resultados coinciden con lo reportado por Vercesi et al. (2024), Zhang et al. (2017) y Pallotti et al. (2025), donde se observa que el deshoje pre apical genera, en todos los estudios incluido este, una disminución en los contenidos de polifenoles. Esta reducción en el contenido fenólico puede explicarse por diversos factores que afectan la uva relacionados con la fisiología de la vid y las condiciones ambientales que se producen tras el deshoje pre apical como se mencionó en el apartado 3.5.

En los vinos correspondientes al tratamiento VSM, la composición fenólica se vio afectada por la sustitución de mosto. Diversos estudios previos han abordado esta temática, entre ellos los realizados por Piccardo et al. (2023), Piccardo, Favre et al. (2019a, 2019b), Piccardo, Gombau et al. (2019), Piccardo, González-Neves et al. (2019) y Rolle et al. (2018). Cabe destacar que, a diferencia del presente estudio, Rolle et al. (2018) emplearon mosto tratado mediante ósmosis inversa, mientras que en el trabajo de Piccardo, Gombau et al. (2019) la sustitución se realizó utilizando agua y mosto acidificado. En lo que respecta al contenido de polifenoles totales, como se explicó

anteriormente, los resultados obtenidos en este estudio fueron inferiores a los registrados en los vinos VT. Sin embargo, las investigaciones previamente mencionadas han reportado resultados contrastantes. Por ejemplo, Rolle et al. (2018) no encontraron diferencias significativas respecto al testigo, mientras que en distintos años de los estudios realizados por Piccardo et al. (2023), Piccardo, Favre et al. (2019a, 2019b), Piccardo, Gombau et al. (2019) y Piccardo, González-Neves et al. (2019) se observaron valores iguales o inferiores. Estos resultados sugieren que el año de vendimia puede tener un impacto determinante sobre la composición fenólica, influyendo en la respuesta del vino frente a las prácticas de sustitución aplicadas. En cuanto a la concentración de antocianos, las investigaciones mencionadas reportaron valores iguales o superiores a los del vino testigo, en contraste con los resultados obtenidos en el presente estudio. No obstante, es importante destacar que la diferencia entre los tratamientos VT y VSM fueron de aproximadamente un 10 %, por lo que esta variación cuantitativa podría no traducirse en diferencias visualmente perceptibles. Rolle et al. (2018) sugieren que, en el caso de bayas maduras, los antocianos se extraen con mayor facilidad de los hollejos durante el proceso de estrujado, por lo que la fracción eliminada por la sustitución podría contener una cantidad considerable de estos pigmentos, lo que podría explicar los resultados observados en este estudio. Los contenidos de taninos han sido variables en las investigaciones mencionadas, y el efecto de la sustitución sobre estos compuestos no resulta del todo claro, ya que se han reportado valores superiores, iguales e inferiores en comparación con los vinos testigos. En este estudio, los menores contenidos de taninos observados podrían explicarse por una menor extracción de dichos compuestos, atribuible a la reducción en el contenido de alcohol, la cual limita la solubilidad y extracción de taninos durante la fermentación (Canals et al., 2005).

El tratamiento VSV se destaca por haber generado el menor impacto sobre la composición fenólica, posicionándose como una alternativa viable para reducir el grado alcohólico sin comprometer significativamente la calidad fenólica del vino. Investigaciones previas, como las de Kontoudakis et al. (2011), han demostrado que la composición fenólica puede verse afectada por técnicas de sustitución con vino proveniente de uvas inmaduras. En lo que respecta al contenido de polifenoles totales, dichos autores observaron comportamientos diferentes según la variedad de uva utilizada, reportando valores similares al testigo en algunas variedades, mientras que en otras, como Merlot, se registraron concentraciones significativamente más altas. Estos resultados contrastan con los obtenidos en el presente estudio, donde los contenidos fueron inferiores a los del vino testigo, lo que sugiere que la respuesta fenólica podría estar influenciada por factores como la variedad de uva, las condiciones de fermentación

y otras variables específicas del proceso enológico. No obstante, en lo que respecta al contenido de antocianos, no se observaron grandes variaciones, resultado que coincide con lo obtenido en el presente estudio, donde la diferencia respecto al testigo fue de aproximadamente un 5 %. Desde el punto de vista enológico, resulta más relevante evaluar si estas diferencias son perceptibles visualmente por el ojo humano, ya que no toda variación cuantitativa implica necesariamente un impacto sensorial apreciable. La similitud en la concentración de antocianos podría atribuirse a que, si bien la técnica de sustitución conlleva cierta remoción de estos compuestos, el pH más bajo obtenido en el tratamiento VSV pudo haber reducido su oxidación y favorecido su estabilidad. Esto se debe a que un pH bajo desplaza el equilibrio de los antocianos hacia la forma de catión flavilio, más estable y coloreada, además de inhibir la actividad de la enzima polifenoloxidasa, responsable de su oxidación (Rapeanu et al., 2006). En cuanto a la concentración de taninos, los resultados obtenidos por Kontoudakis et al. (2011) mostraron que, en algunas variedades como Cabernet Sauvignon, no se observaron diferencias significativas respecto al testigo, similar a lo reportado en este estudio. Sin embargo, para otras variedades como Merlot, se registraron diferencias significativas, con una reducción del 9,4 %.

Por su parte, Catelén (2022), quien también llevó a cabo una investigación similar, no encontró diferencias significativas en la composición fenólica de los vinos evaluados. Estos resultados, en conjunto con los obtenidos en el presente estudio y en trabajos previos antes mencionados, evidencian que los perfiles fenólicos pueden variar entre investigaciones, lo cual podría atribuirse a factores como las condiciones específicas de fermentación, el estado de madurez de la uva, las prácticas enológicas aplicadas y las variaciones interanuales propias de cada vendimia. Por lo tanto, es importante considerar que, si bien las tendencias generales pueden coincidir, la composición fenólica del vino es el resultado de múltiples variables que interactúan de forma compleja en cada contexto productivo.

3.7.3. Color de los vinos

Los parámetros cromáticos determinados para los vinos se presentan en la Tabla 9. El valor de tonalidad, definido como la relación entre la absorbancia a 420 nm y 520 nm (A_{420}/A_{520}), permite evaluar la proporción entre tonalidades amarillas y rojas (Ribéreau-Gayon, Glories et al., 2003). Los resultados se encontraron entre 0,54 y 0,65 donde los vinos del tratamiento VSM presentaron la tonalidad más baja, seguido por VSV, VT y finalmente VD, que registró el valor más alto. En el caso del tratamiento VD, el aumento de la tonalidad podría estar relacionado con su menor concentración de antocianos, como se discutió previamente, lo que afecta la proporción relativa de

pigmentos rojos y provoca una mayor presencia de matices amarillos. Asimismo, se observó que los vinos con tonalidades más elevadas, como VD y VT, coincidieron con valores de pH relativamente más altos, mientras que VSM y VSV, con menor tonalidad, mostraron pH más bajos (Tabla 7). Este comportamiento puede explicarse por el efecto directo del pH sobre la forma química de los antocianos. A pH más bajo, los antocianos se encuentran mayoritariamente en su forma catiónica, responsable de las coloraciones rojizas, lo que favorece una mayor absorbancia en 520 nm. En cambio, al aumentar el pH, los antocianos se transforman en formas menos coloreadas, lo que incrementa la absorbancia relativa en 420 nm, y en consecuencia, la tonalidad del vino (Zamora, 2003).

En lo que respecta a la intensidad colorante de los vinos, los correspondientes al tratamiento VT fueron los que presentaron los valores más elevados ($17,9 \pm 0,4$), lo cual puede atribuirse a su mayor concentración de compuestos fenólicos. Los tratamientos de sustitución, VSM y VSV, no mostraron diferencias significativas entre sí ($15,5 \pm 0,6$ y $15,9 \pm 0,6$, respectivamente), aunque sí se diferenciaron del tratamiento VD, que registró la menor intensidad colorante ($12,9 \pm 0,2$). Este resultado se relaciona con la baja concentración de polifenoles observada en los vinos de dicho tratamiento, en particular antocianos, como fue discutido previamente. Según Hermosín Gutiérrez (2007), la intensidad del color en vinos tintos está directamente relacionada con la concentración de antocianos libres y copigmentados, así como con la formación de pigmentos estables durante la maceración y fermentación. Esta relación se ve reflejada en la composición fenólica de los vinos analizados, donde VT presentó la mayor concentración de antocianos y taninos, lo cual favorecería una mayor intensidad colorante mediante mecanismos de copigmentación y estabilización del color.

Estos resultados se relacionan con los valores de luminosidad (L^*) de los vinos, donde el tratamiento VD presentó el valor más alto ($65,9 \pm 0,5$) y VT el más bajo ($56,3 \pm 0,5$), con una diferencia del 17%. Esto indica que los vinos del tratamiento VT fueron visualmente más oscuros y presentaron mayor intensidad colorante, mientras que los del tratamiento VD resultaron más claros y menos intensos en color, explicado por su menor concentración de compuestos fenólicos.

Los valores de cromaticidad (C^*) fueron más altos en los tratamientos VT, VSM y VSV (entre 43,5 y 43,9), sin diferencias significativas entre ellos. En contraste, el tratamiento VD presentó una cromaticidad significativamente menor de un 20% ($35,1 \pm 0,3$), lo que indica un color menos intenso. En cuanto al tono (H^*), que representa la tonalidad del color y se interpreta como el ángulo en el círculo cromático, los tratamientos VT y VD presentaron valores entre $2,1^\circ$ y $2,7^\circ$, lo cual sugiere un

desplazamiento del color hacia tonalidades más amarillo anaranjado. Por el contrario, los tratamientos VSM y VSV presentaron valores de H* cercanos a 360°, lo que indica un color más rojo violáceo. Este comportamiento puede explicarse por las diferencias en la proporción de antocianos en su forma activa y por el pH de los vinos, que como se discutió anteriormente, influye directamente en la expresión del color.

Tabla 9

Parámetros cromáticos de los vinos elaborados

Tratamiento	VD	VSM	VSV	VT
Tonalidad	0,65 ± 0,01 a	0,54 ± 0,01 d	0,56 ± 0,00 c	0,61 ± 0,01 b
Intensidad colorante	12,9 ± 0,2 c	15,5 ± 0,6 b	15,9 ± 0,6 b	17,9 ± 0,4 a
Luminosidad (L*)	65,9 ± 0,5 a	60,5 ± 1,0 b	59,7 ± 1,0 b	56,3 ± 0,6 c
Cromaticidad (C*)	35,1 ± 0,3 b	43,9 ± 1,0 a	43,5 ± 0,9 a	43,7 ± 0,3 a
Tono (H*)	2,7 ± 0,4 a	359 ± 0,7 b	360 ± 0,4 b	2,1 ± 0,7 a
a*	35,1 ± 0,3 b	43,9 ± 1,0 a	43,5 ± 0,9 a	43,7 ± 0,3 a
b*	1,63 ± 0,23 a	-0,80 ± 0,54 b	-0,24 ± 0,30 b	1,59 ± 0,57 a

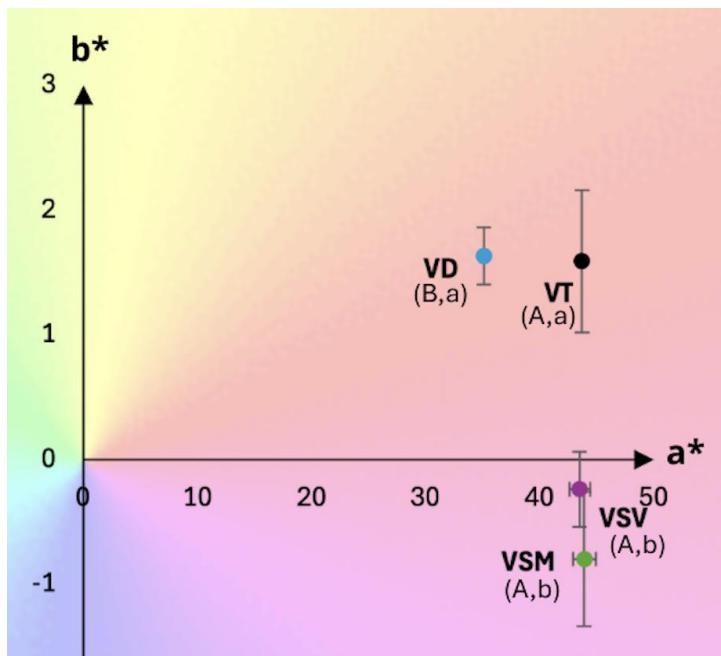
Nota. Medias con distinta letra indican diferencias significativas ($p<0.05$).

VD=Vinificación del tratamiento deshoje pre apical en viñedo, VSM=Vinificación con sustitución por mosto reducidos en azúcares, VSV=Vinificación con sustitución por vino reducido en alcohol, VT=Vinificación tradicional. Para la obtención de los datos se utilizó el software MCSV (Grupo de color, 2012).

Al analizar los parámetros a* y b*, que indican la posición del color en los ejes rojo-verde y amarillo-azul respectivamente, se observaron diferencias coherentes con los resultados discutidos anteriormente (Tabla 8 y Figura 34). El parámetro a*, asociado a la componente roja del color, fue similar en los tratamientos VT, VSM y VSV (entre 43,5 y 43,9), mientras que en VD se registró un valor significativamente menor ($35,1 \pm 0,3$), lo que indica una menor intensidad de los matices rojos en este vino. En cuanto al parámetro b*, que representa la componente amarilla, se observaron los valores más altos en los tratamientos VT y VD ($1,59 \pm 0,57$ y $1,63 \pm 0,23$, respectivamente), lo que sugiere una mayor presencia de tonalidades amarillas. Por el contrario, los tratamientos VSM y VSV presentaron valores significativamente más bajos ($-0,80 \pm 0,54$ y $-0,24 \pm 0,30$, respectivamente), indicando una menor contribución de matices amarillos al color total del vino. Estos resultados reflejan que los vinos elaborados con sustitución de mosto (VSM y VSV) conservan un perfil cromático más asociado a tonalidades rojo violáceas, mientras que en el caso de VD, la reducción en compuestos fenólicos no solo afectó la intensidad y saturación del color, sino que también provocó un desplazamiento del tono hacia colores más amarillentos.

Figura 34

Coordenadas CIELab de los vinos



Nota. Medias en mayúscula con distinta letra indican diferencias significativas en a^* ($p<0.05$) y medias en minúscula con distinta letra indican diferencias significativas en b^* ($p<0.05$). VD=Vinificación del tratamiento deshoje pre apical en viñedo, VSM=Vinificación con sustitución por mosto reducidos en azúcares, VSV=Vinificación con sustitución por vino reducido en alcohol, VT=Vinificación tradicional. Para la obtención de los datos se utilizó el software MCSV (Grupo de color, 2012).

El análisis de los parámetros cromáticos en su conjunto confirma que los vinos del tratamiento VT fueron los más oscuros, intensos y saturados, con tonalidades rojas definidas. En contraste, el tratamiento VD mostró un color más claro, menos saturado y con una mayor proporción de matices amarillos. Por su parte, los tratamientos VSM y VSV presentaron características intermedias, con buena intensidad y saturación, y una tonalidad más cercana al rojo violáceo. Esto sugiere que la técnica de sustitución de mosto puede generar ciertas modificaciones en el perfil cromático del vino, aunque no tan marcadas como las observadas en VD.

Aunque al finalizar la fermentación el color de los vinos del tratamiento VD se caracterizó por tonalidades rojo violáceas, con valores bajos de H^* y b^* , ya se evidenciaba su menor intensidad colorante. Esto indica que, si bien se extrajeron antocianos, no fueron suficientes ni estuvieron acompañados de taninos en cantidad necesaria para estabilizar el color. Hermosín Gutiérrez (2007) explican que los taninos son fundamentales para formar complejos estables con los antocianos por mecanismos

de copigmentación y condensación, asegurando que el color no se degrade con el tiempo. La evolución del color no se detiene al finalizar la fermentación, sino que en las semanas siguientes ocurren reacciones de estabilización fenólica que incluyen la formación de pigmentos estables. Si en el tratamiento VD estos procesos fueron limitados por escasez de compuestos fenólicos, es esperable una mayor pérdida de color. Zhang et al. (2024) también señala que los vinos con baja estructura fenólica tienen menor resistencia a la evolución oxidativa del color, lo que respalda esta explicación. Los resultados coinciden con lo descrito por Vercesi et al. (2024) y Zhang et al. (2017), quienes también reportaron alteraciones significativas en el color del vino asociadas al deshoje pre apical. Sin embargo, los resultados reportados por Pallotti et al. (2025) contrastan con los obtenidos en este estudio, ya que ellos afirman que, aunque el deshoje pre apical reduce el contenido total de antocianos y altera su abundancia relativa en el vino, puede mejorar el color, produciendo vinos con mayor intensidad colorante y tonalidades más violáceas.

Lo reportado por Kontoudakis et al. (2011) indica que los vinos con sustitución por vino se caracterizaron por presentar valores más altos de C*, H*, a* y b*, y un valor menor de L*. Por el contrario, en el presente estudio, los vinos del tratamiento VSV se distinguieron por no mostrar grandes diferencias en los parámetros C*, L* y a*, aunque sí presentaron un valor de b* más bajo, lo que se traduce en un color menos amarillo y más violáceo. Esta característica podría considerarse un atributo positivo del color en comparación con el tratamiento VT.

En investigaciones sobre sustitución con mosto realizadas por Rolle et al. (2018) y Piccardo et al. (2019a), no se encontraron diferencias significativas en los parámetros CIELab entre los vinos con sustitución y los testigos. Sin embargo, otros estudios de Piccardo et al. (2023), Piccardo, Favre et al. (2019b) y Piccardo, González-Neves et al. (2019) han reportado variaciones en estos parámetros, aunque sin seguir un patrón definido. Estas diferencias se atribuyen al hecho de que el color del vino tinto depende de la concentración de pigmentos, sus interacciones con otros compuestos y las condiciones fisicoquímicas del medio en el que se encuentran. Por lo tanto, cualquier modificación de estos factores puede provocar un cambio en el color del vino. Los autores destacan que la composición del mosto tuvo un impacto variable, observándose en vinos Tannat efectos marcados sobre la intensidad colorante, la luminosidad (L*) y la cromaticidad (C*), mientras que el tono (H*) fue menos afectado. De manera similar a lo observado en el presente estudio, los vinos del tratamiento VSM no presentaron grandes diferencias con el VT, excepto en los parámetros H* y b*, y se caracterizaron por presentar un color similar al de los vinos del tratamiento VSV.

En conjunto, los resultados del presente estudio confirman que las prácticas de manejo evaluadas impactan en el perfil cromático del vino, aunque con diferente intensidad. Mientras que el deshoje pre apical (VD) generó vinos más claros, la sustitución de mosto (VSM y VSV) mostró efectos más moderados y, en algunos casos, incluso favorables, como una tonalidad más violácea y una alta saturación. Estas observaciones remarcán la idea de que la composición fenólica inicial del mosto y su equilibrio resultan determinantes para la calidad y estabilidad del color en vinos tintos. Para obtener vinos con características similares en composición fenólica y color a los vinos VT, se puede optar por aplicar maceraciones alternativas durante la elaboración, con el fin de lograr una mayor extracción de compuestos fenólicos. Esto ya ha sido demostrado por Piccardo, González-Neves et al. (2019), quienes emplearon una maceración prefermentativa en caliente como complemento a la práctica de sustitución de mosto.

3.8. Evaluación sensorial de los vinos

En la Figura 35 se presentan los resultados del análisis sensorial realizado por los degustadores. Se observaron diferencias significativas en la apreciación visual de los vinos, tanto en la intensidad colorante como en la tonalidad. La percepción sensorial de los degustadores coincidió con los resultados obtenidos en los análisis cromáticos, donde los vinos del tratamiento VT fueron evaluados como los de mayor intensidad colorante y tonalidad rojiza. En contraste, el vino del tratamiento VD fue percibido como el de menor intensidad y tonalidad. Los vinos correspondientes a los tratamientos VSV y VSM no mostraron diferencias significativas respecto al vino testigo (VT), lo que indica que los degustadores no lograron diferenciarlos sensorialmente. Esto refleja que las variaciones analíticas encontradas en la composición fenólica y cromática entre los vinos no fueron percibidas durante la evaluación sensorial.

En cuanto a la apreciación olfativa, no se encontraron diferencias estadísticamente significativas entre los vinos. Sin embargo, el vino VD fue considerado como el de mayor intensidad aromática, mientras que la mayor calidad aromática fue atribuida a los vinos del tratamiento VSV.

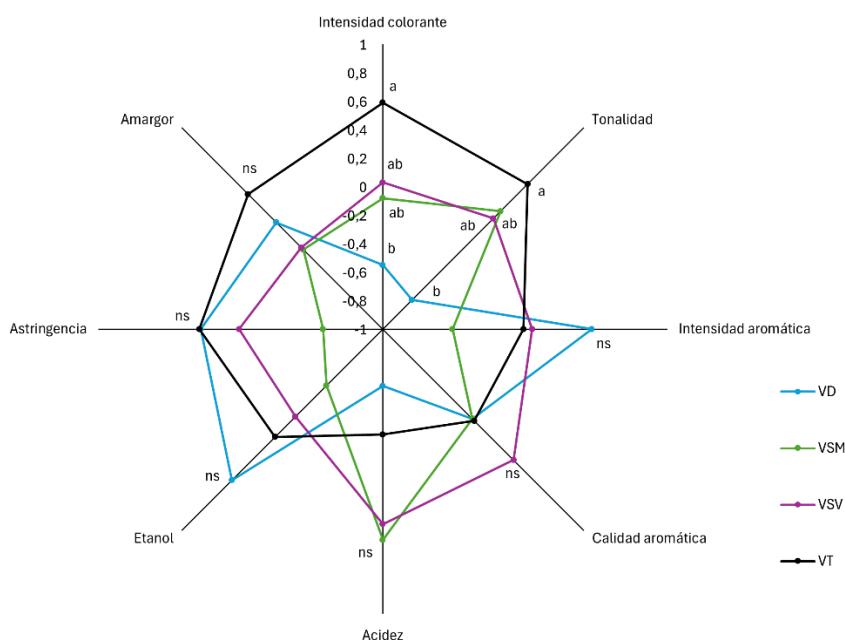
Durante la fase gustativa, se evaluaron principalmente la acidez y la percepción del etanol, con el objetivo de determinar si los vinos elaborados con tratamientos alternativos podían ser diferenciados del testigo. Aunque no se encontraron diferencias significativas, los vinos VSM y VSV destacaron por su mayor acidez, en concordancia con los resultados del análisis de acidez total. En cuanto a la percepción alcohólica, el vino VD fue el que presentó una mayor sensación de alcohol en boca, seguido por el

VT. No obstante, según los análisis fisicoquímicos, los tratamientos VD, VSM y VSV lograron reducir la graduación alcohólica, aunque sensorialmente no se detectaron diferencias estadísticamente significativas en comparación con el vino testigo (VT).

Finalmente, los vinos del tratamiento VT fueron considerados con mayor astringencia y amargor, aunque estas diferencias no fueron significativas respecto a los demás tratamientos. El vino VSM fue el que mostró menor astringencia y se caracterizó por una estructura en boca más ligera.

Figura 35

Análisis sensorial de los vinos



Nota. Medias con distinta letra indican diferencias significativas ($p<0.05$). ns refiere a diferencias no significativas. VD=Vinificación del tratamiento deshoje pre apical en viñedo, VSM=Vinificación con sustitución por mosto reducidos en azúcares, VSV=Vinificación con sustitución por vino reducido en alcohol, VT=Vinificación tradicional.

A los degustadores también se les solicitó que clasificaran los vinos según su orden de preferencia. Si bien las elecciones variaron entre los degustadores, el vino del tratamiento VD fue el mejor valorado por la mayoría. Esta elección podría atribuirse a la tendencia actual de preferir vinos jóvenes, menos estructurados y fáciles de beber (Gracia, 2025). Los vinos del tratamiento VD presentaron una menor proporción de compuestos fenólicos, lo cual no solo influye en el color, sino también en la estructura del vino en boca. En segundo lugar, se posicionó el tratamiento VSV, seguido por el VT en tercer lugar. Por último, el vino correspondiente al tratamiento VSM fue el menos

destacado en términos de aceptación. De este modo, es importante destacar que los tratamientos VD y VSV fueron valorados por encima del VT, lo que indica que dichos tratamientos fueron mayormente aceptados por los degustadores.

La evaluación sensorial permitió identificar diferencias en la percepción visual, olfativa y gustativa de los vinos evaluados. Algunas características, como la intensidad colorante, la tonalidad y la acidez, mostraron concordancia con los resultados analíticos. No obstante, únicamente en el aspecto visual se observaron diferencias estadísticamente significativas, mientras que otras variables, como la percepción alcohólica y la acidez en boca, no reflejaron las diferencias entre tratamientos detectadas en los análisis fisicoquímicos. Estos resultados resaltan la importancia del análisis sensorial como complemento para lograr una caracterización más completa de los vinos.

4. Conclusiones

Las técnicas vitícolas y enológicas empleadas en este estudio responden a una necesidad creciente de la industria vitivinícola ante los efectos del cambio climático, que han generado un aumento en la concentración de azúcares en las uvas y, en consecuencia, vinos con mayor contenido alcohólico y menor acidez. Las estrategias evaluadas fueron planteadas para vendimias cálidas y con escasas precipitaciones. Sin embargo, la temporada 2024–2025, en la que se llevó a cabo la evaluación, presentó precipitaciones relevantes durante la maduración de la uva, por lo que no representó el escenario ideal para su aplicación. Aun así, las técnicas lograron producir vinos con un menor contenido de alcohol, cumpliendo con parte del objetivo principal del estudio.

Los resultados obtenidos demuestran que el deshoje pre apical es una estrategia válida para retrasar la acumulación de azúcares en las bayas de Tannat. Si bien la superficie foliar de las plantas sometidas a este manejo fue menor que la de las plantas testigo, el rendimiento no se vio afectado. Esta técnica permite la elaboración de vinos con menor contenido de alcohol sin comprometer la productividad del viñedo lo que lo posiciona como un método efectivo y de fácil implementación. Sin embargo, en lo referente a la composición básica de los vinos, no se logró alcanzar la disminución de pH esperada. En cuanto a la composición fenólica, se observó una reducción de la concentración de antocianos en las uvas procedentes de plantas con deshoje pre apical, aunque las diferencias más relevantes se manifestaron en los vinos, donde el contenido de polifenoles fue 15% inferior en comparación con el testigo. Estas variaciones influyeron directamente en los parámetros cromáticos del vino, que mostró menor saturación de color y tonalidades más amarillas. No obstante, este vino fue el preferido por los degustadores, lo cual sugiere que el impacto de la técnica sobre la composición fenólica puede mejorar la percepción sensorial a pesar de las diferencias en el color.

Por otro lado, la sustitución de mosto maduro por mosto o vino proveniente de uvas inmaduras demostró ser una estrategia eficaz para reducir el contenido de alcohol y el pH, logrando así un perfil más equilibrado. En cuanto a la composición fenólica y el color, las diferencias con respecto a los demás vinos no superaron el 10%, sin ser detectadas sensorialmente por los degustadores. Esto confirma que los efectos de esta técnica sobre el perfil sensorial del vino son limitados. Cabe destacar que esta estrategia permitió alcanzar los cambios deseados en la composición básica del vino, y que las variaciones en el color pueden considerarse incluso favorables en comparación con el vino testigo, ya que resultaron en vinos de alta saturación y tonalidades violáceas.

En síntesis, las técnicas vitícolas y enológicas evaluadas son herramientas viables para elaborar vinos con menor contenido de alcohol en contextos de altas temperaturas y escasas precipitaciones durante la maduración. Sin embargo, su impacto sobre el color y la composición fenólica del vino puede variar según las condiciones climáticas de cada vendimia por lo que su aplicación debe adaptarse al contexto agroclimático de cada año.

Se considera pertinente continuar en los próximos años con evaluaciones similares, tanto en esta como en otras variedades, especialmente en lo que respecta al deshoje pre apical y la sustitución de mosto por vino proveniente de uvas inmaduras. Esta investigación representa la primera aproximación a estas técnicas a nivel nacional, por lo que es fundamental darle continuidad para profundizar en el análisis de su impacto sobre los objetivos propuestos. En el caso del deshoje pre apical, resulta relevante evaluar si esta práctica incide en la productividad de las cosechas posteriores. Por otro lado, en relación con la sustitución mediante vino elaborado a partir de uvas inmaduras, se sugiere la realización de ensayos con diferentes porcentajes de incorporación, así como utilizar otras variedades para la sustitución con el propósito de determinar su impacto en las propiedades fisicoquímicas y sensoriales del producto final. Dado que los vinos elaborados con ambas estrategias presentaron diferencias en su composición fenólica y en el color, podría evaluarse la implementación de distintos tipos de maceración para lograr una mayor extracción de compuestos fenólicos, en lugar de realizar una vinificación tradicional. Asimismo, es de gran relevancia promover la transferencia de estos conocimientos al sector productivo, a través de capacitaciones, jornadas técnicas y validaciones a escala comercial. Esto permitirá que los productores tengan herramientas viables para enfrentar los nuevos desafíos climáticos.

5. Bibliografía

- Alcalde-Eon, C., Escribano-Bailón, M., Santos-Buelga, C., & Rivas-Gonzalo, J. (2006). Changes in the detailed pigment composition of red wine during maturity and ageing: A comprehensive study. *Analytica Chimica Acta*, 563(1-2), 238-254. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0003267005018908>
- Australian Wine Research Institute. (2018). Volatile acidity. *Grapegrower & Winemaker*, (648), 16. <https://www.awri.com.au/wp-content/uploads/2018/03/s1982.pdf>
- Ayala, F., Echávarri, J. F., & Negueruela, A. (1997). A new simplified method for measuring the color of wines: I. Red and Rosé Wines. *American Journal of Enology and Viticulture*, 48(3), 357-363. <https://www.ajevonline.org/content/48/3/357.short>
- Beltran, G., Novo, M., Guillamón, J. M., Mas, A., & Rozès, N. (2008). Effect of fermentation temperature and culture media on the yeast lipid composition and wine volatile compounds. *International Journal of Food Microbiology*, 121(2), 169-177. <https://doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2007.11.030>
- Boido, E., Alcalde-Eon, C., Carrau, F., Dellacassa, E., & Rivas-Gonzalo, J. C. (2006). Aging effect on the pigment composition and color of *Vitis vinifera* L. cv. Tannat wines: Contribution of the main pigment families to wine color. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 54(18), 6692-6704. <https://doi.org/10.1021/jf061240m>
- Bonada, M., Catania, A., Gambetta, M., & Petrie, P. (2021). Soil water availability during spring modulates canopy growth and impacts the chemical and sensory composition of Shiraz fruit and wine. *Australian Journal of Grape and Wine Research*, 27(4), 491-507. <https://doi.org/10.1111/ajgw.12506>
- Canals, R., Llaudy, M., Valls, J., Canals, J. M., & Zamora, F. (2005). Influence of ethanol concentration on the extraction of color and phenolic compounds from the skin and seeds of Tempranillo grapes at different stages of ripening. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 53(10), 4019-4025. <https://doi.org/10.1021/jf047872v>
- Carboneau A. (1995). La surface foliaire exposée: Guide pour sa mesure. *Le Progrès Agricole Viticole*, 9, 204-212.

- Carbonneau, A., Moueix, A., Leclair, N., & Renoux, J. (1991). Proposition d'une méthode de prélèvement de raisins à partir de l'analyse de l'hétérogénéité de maturation sur un cep. *Bulletin de L'OIV*, 64, 679-690. <https://pandor.u-bourgogne.fr/archives-en-ligne/ark:/62246/r16011zsqmg6hk/f12?locale=fr>
- Cataldo, E., Salvi, L., Paoli, F., Fucile, M., & Mattii, 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>
- Catelén, M. J. (2022). *Combinación de estrategias pre-fermentativas y fermentativas para reducir el contenido de alcohol y el pH en vinos Malbec* [Tesis de maestría, Universidad Nacional de Cuyo]. Biblioteca Digital Uncuyo. <https://bdigital.uncu.edu.ar/18934>
- Clara, A., Piccardo, D., Cazzola, V., & Fourment, M. (2023). Evaluación de alternativas de gestión de viñedo para mitigar los efectos de la variabilidad climática sobre el rendimiento y la composición de uvas. *BIO Web of Conferences*, 56, Artículo e01028. <https://doi.org/10.1051/bioconf/20235601028>
- 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., & Hale, C. R. (1973). The hormone content of ripening grape berries and the effects of growth substance treatments. *Plant Physiology*, 51(4), 629-634. <https://doi.org/10.1104/pp.51.4.629>
- De Bei, R., Fuentes, S., Gilligham, M., Tyerman, S., Edwards, E., Bianchini, N., Smith, J., & Collins, C. (2016). VitiCanopy: A free computer app to estimate canopy vigor and porosity for grapevine. *Sensors*, 16(4), Artículo e585. <https://doi.org/10.3390/s16040585>
- Decreto nº 283/993: *Variedades Vitis Viníferas - Vinos*. (1993). IMPO. <https://www impo.com.uy/bases/decretos/283-1993>
- Decreto nº 103/994: *Industria vitivinícola. Vinos inaptos para consumo*. (1994). IMPO. <https://www impo.com.uy/bases/decretos/103-1994>

- Del Llaudy, M. C., Canals, R., Canals, J. M., & Zamora, F. (2008). Influence of ripening stage and maceration length on the contribution of grape skins, seeds and stems to phenolic composition and astringency in wine simulated macerations. *European Food Research and Technology*, 226(3), 337-344. <https://link.springer.com/article/10.1007/s00217-006-0542-3>
- Deloire, A., & Pellegrino, A. (2021). Review of vine water deficit: What levers for the vineyard in the short and medium term? *IVES Technical Reviews vine and wine*. <https://inria.hal.science/hal-03404343/>
- Favre, G. (2019). *Estudio de la composición polifenólica de uvas y vinos tintos de distintas variedades Vitis vinifera cultivadas en Uruguay* [Disertación doctoral, Universidad de la República]. Colibri. <https://hdl.handle.net/20.500.12008/29227>
- Ferrer, M. (2007). *Etude du climat des régions viticoles de l'Uruguay, des variations climatiques et de l'interaction apportée par le microclimat et l'écophysiologie des systèmes de conduit Espalier et Lyre sur Merlot* [Disertación doctoral]. Université de Montpellier.
- Ferrer, M., Echeverría, G., & Carboneau, A. (2014). Effect of berry weight and its components on the contents of sugars and anthocyanins of three varieties of *Vitis vinifera* L. under different water supply conditions. *South African Journal of Enology and Viticulture*, 35(1), 103-113. https://www.scielo.org.za/scielo.php?pid=S2224-79042014000100007&script=sci_arttext
- Ferrer, M., Echeverría, G., & Mira-Avalos, J. M. (2017). Meteorological conditions: Influence of yield, sanitary status and grape composition. *International Journal of Environmental & Agriculture Research*, 3(8), 16-27. https://www.researchgate.net/publication/319397520_Meteorological_Conditions_Influence_on_Yield_Sanitary_Status_and_Grape_Composition
- Ferrer, M., Echeverría, G., Pereyra, G., González-Neves, G., Pan, D., & Mirás-Avalos, J. M. (2020). Mapping vineyard vigor using airborne remote sensing: Relations with yield, berry composition and sanitary status under humid climate conditions. *Precision Agriculture*, 21(1), 178-197. <https://doi.org/10.1007/s11119-019-09663-9>
- Fia, G., Bucalossi, G., Proserpio, C., & Vincenzi, S. (2022). Unripe grapes: An overview of the composition, traditional and innovative applications, and extraction methods of a promising waste of viticulture. *Australian Journal of Grape and Wine Research*, 28(1), 8-26. <https://doi.org/10.1111/ajgw.12522>

FOSS Analytical Solutions. (s.f.). *FOSS Integrator* (Versión 4.8) [Software].

<https://www.fossanalytics.com>

Fourment, M., Bonnardot, V., Planchon, O., Ferrer, M., & Quénol, H. (2014). Circulation atmosphérique locale et impacts thermiques dans un vignoble côtier:

Observations dans le sud de l'Uruguay. *Climatologie*, 11, 47-64.

<https://doi.org/10.4267/climatologie.589>

Fourment, M., Ferrer, M., González-Neves, G., Barbeau, G., Bonnardot, V., & Quénol, H. (2017). Tannat grape composition responses to spatial variability of temperature in an Uruguay's coastal wine region. *International Journal of Biometeorology*, 61(9), 1617-1628. <https://doi.org/10.1007/s00484-017-1340-2>

Fourment, M., Ferrer, M., & Quénol, H. (2013). *Vitis vinifera L. cv. Tannat: Respuesta a la variabilidad climática*. *Agrociencia (Uruguay)*, 17(2), 45-54.

<https://doi.org/10.31285/AGRO.17.433>

Fourment, M., & Piccardo, D. (2023). What grapes and wines to expect with the drought? *Agrociencia Uruguay*, 27, Artículo e1206.

<https://doi.org/10.31285/AGRO.27.1206>

Fourment, M., Tachini, R., Bonnardot, V., & Collins, C. (2024). Assessment of Albariño (*Vitis vinifera* sp.) plasticity to local climate in the Atlantic eastern coastal terroir of Uruguay. *OENO one*, 58(4), 1-15. <https://doi.org/10.20870/oeno-one.2024.58.4.8196>

Fourment, M., Tachini, R., Ferrer, M., & Bonnardot, V. (2020). Phenology responses of grapevine cultivars to climate variability in a coastal region of Uruguay. En V. Bonnardot & H. Quenol (Eds.), *Changement climatique et territoires* (pp. 319-324). Association Internationale de Climatologie; LETG. https://aic2020rennes.sciencesconf.org/data/pages/Actes_AIC.pdf

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>

Giacosa, S., Segade, S. R., Cagnasso, E., Caudana, A., Rolle, L., & Gerbi, V. (2019). SO₂ in wines: Rational use and possible alternatives. En A. Morata (Ed.), *Red wine technology* (pp. 309-321). Academic Press. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-814399-5.00021-9>

- Gil, M., Kontoudakis, N., González, E., Esteruelas, M., Fort, F., Canals, J. M., & Zamora, F. (2012). Influence of grape maturity and maceration length on color, polyphenolic composition, and polysaccharide content of Cabernet Sauvignon and Tempranillo wines. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 60(32), 7988-8001. <https://doi.org/10.1021/jf302064n>
- Glories, Y. (1984). La couleur des vins rouges: 2^e partie: Mesure, origine et interpretation. *Connaissance de la Vigne et du Vin*, 18(4), 253-271. <https://doi.org/10.20870/oeno-one.1984.18.4.1744>
- González, Á., Hierro, N., Poblet, M., Mas, A., & Guillamón, J. M. (2005). Application of molecular methods to demonstrate species and strain evolution of acetic acid bacteria population during wine production. *International Journal of Food Microbiology*, 102(3), 295-304. <https://doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2004.11.020>
- González-Neves, G., Barreiro, L., Gil, G., Franco, J., Ferrer, M., Moutounet, M., & Carboneau, 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., Charamelo, D., Balado, J., Barreiro, L., Bochicchio, R., Gatto, G., Gil, G., Tessore, A., Carboneau, A., & Moutounet, M. (2004). Phenolic potential of Tannat, Cabernet-Sauvignon and Merlot grapes and their correspondence with wine composition. *Analytica Chimica Acta*, 513(1), 191-196. <https://doi.org/10.1016/j.aca.2003.11.042>
- González-Neves, G., Ferrer, M., & Gil, G. (2012). Differentiation of Tannat, Cabernet Sauvignon and Merlot grapes from Uruguay according to their general composition and polyphenolic potential. *Comunicata Scientiae*, 3(1), 41-49. <https://comunicatascientiae.com.br/comunicata/article/view/77>
- González-Neves, G., Gil, G., Barreiro, L., Ferrer, M., & Franco, J. (2006). Composición fenólica de las uvas de las principales variedades tintas de *Vitis vinifera* cultivadas en Uruguay. *Agrociencia (Uruguay)*, 10(2), 1-14. <https://doi.org/10.31285/AGRO.10.918>
- Google Earth. (2025). [Canelón Chico, Canelones, Uruguay. Mapa]. Recuperado el 20 de julio de 2025, de <https://earth.google.com/web/@-34.66939893,-56.15977299,46.10959704a,7715.55062914d,35y,360h,0t,0r/data=CgRCAggB0gMKATBCAggASg0I> ARAA?authuser=0

- Gracia, A. (2025, 11-13 de febrero). *Evolución y cambios en el consumo de vinos* [Contribución]. ENOMAQ-OLEOMAQ-EBEER-TECNOVIC-OLEOTEC, Zaragoza. <https://citarea.cita-aragon.es/server/api/core/bitstreams/9856d12c-7818-482c-a0bf-2df1d0a7315a/content>
- Grupo de color. (2012). *MSCV* [Software]. Universidad de La Rioja. <https://www.unirioja.es/color/descargas.shtml>
- Gutiérrez-Gamboa, G., & Fourment, M. (2025). Research and innovations in latin american vitiviniculture: A review. *Horticulturae*, 11(5), Artículo e506. <https://doi.org/10.3390/horticulturae11050506>
- Hermosín Gutiérrez, I. (2007). Copigmentació i piranoantocians: El paper dels flavonols i els àcids hidroxicinàmics en el color del vi. *ACE Revista d'Enologia*, 24(79), 12-20. https://www.researchgate.net/profile/Isidro-Hermosin-Gutierrez/publication/28156914_Copigmentacion_y_piranoantocianos_El_papel_de_los_flavonoles_y_los_acidos_hidroxicinamicos_en_el_color_del_vino_tinto/links/00463516d75e6b1e48000000/Copigmentacion-y-piranoantocianos-El-papel-de-los-flavonoles-y-los-acidos-hidroxicinamicos-en-el-color-del-vino-tinto.pdf
- Hidalgo Togores, J. (2011). *Tratado de enología* (2^a ed.). Mundi-Prensa.
- Hunter, J. J., & Bonnardot, V. (2011). Suitability of same climatic parameters for grapevine cultivation in South Africa, with focus on key physiological process. *South African Journal of Enology and Viticulture*, 32(1), 137-154. https://www.researchgate.net/profile/J-J-Hunter/publication/262946699_Suitability_of_Some_Climatic_Parameters_for_Grapevine_Cultivation_in_South_Africa_with_Focus_on_Key_Physiological_Processes/links/53e358e70cf23a7ff74940bf/Suitability-of-Some-Climatic-Parameters-for-Grapevine-Cultivation-in-South-Africa-with-Focus-on-Key-Physiological-Processe.pdf
- Iland, P., Dry, P., Proffitt, T., Tyerman, S., Collins, C., Pagay, V., & Steel, C. (2024). *The Grapevine: From the science to the practice of growing vines for wine* (2nd ed.). Patrick Iland Wine Promotions.
- Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria. (s.f.). *Banco de datos agroclimáticos*. <http://www.inia.uy/gras/Clima/Banco-datos-agroclimatico>
- Instituto Nacional de Vitivinicultura. (s.f.). *Instructivo vendimia 2020*. <https://www.inavi.com.uy/noticia/instructivo-vendimia-2020/>

- Instituto Nacional de Vitivinicultura. (2024). *Reporte anual: Registro de viñedos Uruguay 2024.* <https://www.inavi.com.uy/uploads/vinedo/346bb91b94f57f26d3e293b52fc0059a83b273cf.pdf>
- Intergovernmental Panel on Climate Change. (2023). *Climate change 2023: Synthesis report: Summary for policymakers.* https://www.ipcc.ch/report/ar6/syr/downloads/report/IPCC_AR6_SYR_SPM.pdf
- Jackson, D. I., & Lombard, P. B. (1993). Environmental management practices affecting grape composition and wine quality: A review. *American Journal of Enology and Viticulture*, 44(4), 409-430.
<https://www.ajevonline.org/content/44/4/409.short>
- Jones, G. (2012). Climate, grapes, and wine: Structure and suitability in a changing climate. *Acta Horticulturae*, (931), 19-28.
https://www.researchgate.net/publication/284575804_Climate_grapes_and_wine_Structure_and_suitability_in_a_changing_climate
- Jones, G., & Webb, L. (2010). Climate change, viticulture, and wine: Challenges and opportunities. *Journal of Wine Research*, 21(2-3), 103-106.
<https://doi.org/10.1080/09571264.2010.530091>
- Jordão, A., Vilela, A., & Cosme, F. (2015). From sugar of grape to alcohol of wine: Sensorial impact of alcohol in wine. *Beverages*, 1(4), 292-310.
<https://doi.org/10.3390/beverages1040292>
- Julius Kühn-Institut. (s.f.). *Tannat*.
<https://www.vivc.de/index.php?r=passport%2Fview&id=12257>
- Keller, M. (2020). *The science of grapevines* (3rd ed.). Academic press.
- Kontoudakis, N., Esteruelas, M., Fort, F., Canals, J. M., & Zamora, F. (2011). Use of unripe grapes harvested during cluster thinning as a method for reducing alcohol content and pH of wine. *Australian Journal of Grape and Wine Research*, 17(2), 230-238. <https://doi.org/10.1111/j.1755-0238.2011.00142.x>
- Labanda, J., Vichi, S., Llorens, J., & López-Tamames, E. (2009). Membrane separation technology for the reduction of alcoholic degree of a white model wine. *Food Science and Technology*, 42(8), 1390-1395.
<https://doi.org/10.1016/j.lwt.2009.03.008>

- Listur, B., Baldivia, G., Coniberti, A., Martín, V., Boido, E., Medina, K., Carrau, F., Dellacassa, E., & Fariña, L. (2023). Estrategias combinadas para la obtención de un vino Tannat con un contenido moderado de alcohol. *BIO Web of Conferences*, 68, Artículo e02045. <https://doi.org/10.1051/bioconf/20236802045>
- Liu, X., Jia, B., Sun, X., Ai, J., Wang, L., Wang, C., Zhao, F., Zhan, J., & Huang, W. (2015). Effect of initial pH on growth characteristics and fermentation properties of *Saccharomyces cerevisiae*. *Journal of Food Science*, 80(4), M800-M808. <https://doi.org/10.1111/1750-3841.12813>
- Martínez de Toda, F. (1991). *Biología de la vid: Fundamentos biológicos de la viticultura*. Mundi-Prensa.
- Mckinnon, A. J., Scollary, G. R., Solomon, D. H., & Williams, P. J. (1995). The influence of wine components on the spontaneous precipitation of calcium L(+)-tartrate in a model wine solution. *American Journal of Enology and Viticulture*, 46(4), 509-517. <https://www.ajevonline.org/content/46/4/509.short>
- Mercurio, M. D., Dambergs, R. G., Herderich, M. J., & Smith, P. A. (2007). High throughput analysis of red wine and grape phenolics adaptation and validation of methyl cellulose precipitable tannin assay and modified somers color assay to a rapid 96 well plate format. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 55(12), 4651-4657. <https://doi.org/10.1021/jf063674n>
- Mori, K., Goto-Yamamoto, N., Kitayama, M., & Hashizume, K. (2007). Loss of anthocyanins in red-wine grape under high temperature. *Journal of Experimental Botany*, 58(8), 1935-1945. <https://doi.org/10.1093/jxb/erm055>
- Nicholas, K. A., Matthews, M. A., Lobell, D. B., Willits, N. H., & Field, C. B. (2011). Effect of vineyard-scale climate variability on Pinot noir phenolic composition. *Agricultural and Forest Meteorology*, 151(12), 1556-1567. <https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2011.06.010>
- Ó-Marques, J., Reguinga, R., Laureano, O., & Ricardo da-Silva, J. (2005). Changes in grape seed, skins and pulp condensed tannins during berry ripening: Effect of fruit pruning. *Ciência e Técnica Vitivinícola*, 20(1), 35-52. https://www.researchgate.net/publication/258020638_Changes_in_grape_seed_skins_and_pulp_condensed_tannins_during_berry_ripening_Effect_of_fruit_pruning
- Organisation Internationale de la Vigne et du Vin. (2021). *Recueil des méthodes internationales d'analyse des vins et des mouts*. <https://www.oiv.int/public/medias/8533/methodesdanalysevol1.pdf>

- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. (2024). *Estrategia de la FAO sobre el cambio climático 2022–2031.* <https://openknowledge.fao.org/server/api/core/bitstreams/d6a16aac-bc51-4964-97a2-b6933032e8f9/content>
- Pallotti, A., Panara, F., Silvestroni, O., Lanari, V., Sabbatini, P., Howell, G. S., Gatti, M., & Poni, S. (2013). Influence of mechanical postveraison leaf removal apical to the cluster zone on delay of fruit ripening in Sangiovese (*Vitis vinifera L.*) grapevines. *Australian Journal of Grape and Wine Research*, 19(3), 369-377. <https://doi.org/10.1111/ajgw.12033>
- Pallotti, L., Partida, G., Laroche-Pinel, E., Lanari, V., Pedroza, M., & Brillante, L. (2025). Late-season source limitation practices to cope with climate change: Delaying ripening and improving colour of Cabernet-Sauvignon grapes and wine in a hot and arid climate. *OENO One*, 59(1). <https://doi.org/10.20870/eno-one.2025.59.1.8232>
- Pérez-Magariño, S., & González-Sanjosé, M. L. (2003). Application of absorbance values used in wineries for estimating CIELAB parameters in red wines. *Food Chemistry*, 81(2), 301-306. [https://doi.org/10.1016/S0308-8146\(02\)00509-5](https://doi.org/10.1016/S0308-8146(02)00509-5)
- Pérez-Navarro, J., Izquierdo-Cañas, P. M., Mena-Morales, A., Martínez-Gascueña, J., Chacón-Vozmediano, J. L., García-Romero, E., Hermosín-Gutiérrez, I., & Gómez-Alonso, S. (2019). Phenolic compounds profile of different berry parts from novel *Vitis vinifera L.* red grape genotypes and Tempranillo using HPLC-DAD-ESI-MS/MS: A varietal differentiation tool. *Food Chemistry*, 295, 350-360. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2019.05.137>
- Peynaud, É. (1999). *Enología práctica: Conocimiento y elaboración del vino* (3^a ed.). Mundi-Prensa.
- Piccardo, D., Favre, G., Pascual, O., Canals, J. M., Zamora, F., & González-Neves, G. (2019a). Influence of the use of unripe grapes to reduce ethanol content and pH on the color, polyphenol and polysaccharide composition of conventional and hot macerated Pinot Noir and Tannat wines. *European Food Research and Technology*, 245(6), 1321-1335. <https://link.springer.com/article/10.1007/s00217-019-03258-4>

- Piccardo, D., Favre, G., Pascual, O., Canals, J. M., Zamora, F., & González-Neves, G. (2019b). Reducción del contenido de alcohol y pH de vinos tintos Pinot noir y Tannat empleando uvas con diferentes niveles de maduración. *BIO Web of Conferences*, 12, Artículo e02023. <https://doi.org/10.1051/bioconf/20191202023>
- Piccardo, D., Gombau, J., Pascual, O., Vignault, A., Pons, P., Canals, J. M., González-Neves, G., & Zamora, F. (2019). Influence of two prefermentative treatments to reduce the ethanol content and pH of red wines obtained from overripe grapes. *Vitis*, 58(5), 59-67.
https://www.researchgate.net/publication/337919285_Influence_of_two_prefermentative_treatments_to_reduce_the_ethanol_content_and_pH_of_red_wines_obtained_from_overripe_grapes
- Piccardo, D., González-Neves, G., Clara, A., Cazola, V., Favre, G., & Fourment, M. (2023). Empleo de mostos Ugni blanc para reducir el contenido de alcohol y el pH de los vinos Tannat. *BIO Web of Conferences*, 68, Artículo e02032.
<https://doi.org/10.1051/bioconf/20236802032>
- Piccardo, D., González-Neves, G., Favre, G., Pascual, O., Canals, J. M., & Zamora, F. (2019). Impact of must replacement and hot pre-fermentative maceration on the color of Uruguayan Tannat red wines. *Fermentation*, 5(3), Artículo e80.
<https://doi.org/10.3390/fermentation5030080>
- Plugatar, Y., Johnson, J. B., Timofeev, R., Korzin, V., Kazak, A., Nekhaychuk, D., Borisova, E., & Rotanov, G. (2023). Prediction of ethanol content and total extract using densimetry and refractometry. *Beverages*, 9(2), Artículo e31.
<https://doi.org/10.3390/beverages9020031>
- Poni, S., Frioni, T., & Gatti, M. (2023). Summer pruning in Mediterranean vineyards: Is climate change affecting its perception, modalities, and effects? *Frontiers in Plant Science*, 14, Artículo e1227628.
<https://doi.org/10.3389/fpls.2023.1227628>
- Poni, S., Gatti, M., Bernizzoni, F., Civardi, S., Bobeica, N., Magnanini, E., & Palliotti, A. (2013). Late leaf removal aimed at delaying ripening in cv. Sangiovese: Physiological assessment and vine performance. *Australian Journal of Grape and Wine Research*, 19(3), 378-387. <https://doi.org/10.1111/ajgw.12040>
- Poni, S., Gatti, M., Palliotti, A., Dai, Z., Duchêne, E., Truong, T.-T., Ferrara, G., Matarrese, A. M. S., Gallotta, A., Bellincontro, A., Mencarelli, F., & Tombesi, S. (2018). Grapevine quality: A multiple choice issue. *Scientia Horticulturae*, 234, 445-462. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2017.12.035>

- Poni, S., Intrieri, C., & Silvestroni, O. (1994). Interactions of leaf age, fruiting, and exogenous cytokinins in Sangiovese grapevines under non-irrigated conditions: I. Gas exchange. *American Journal of Enology and Viticulture*, 45(1), 71-78.
<https://doi.org/10.5344/ajev.1994.45.1.71>
- Rapeanu, G., Van Loey, A., Smout, S., & Hendrickx, M. (2006). Biochemical characterization and process stability of polyphenoloxidase extracted from Victoria grape (*Vitis vinifera ssp. Sativa*). *Food Chemistry*, 94(2), 253-261.
<https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2004.10.058>
- Ribéreau-Gayon, P. (1970). Le dosage des composés phénoliques totaux dans les vins rouges. *Chimique Analytique*, 52(6), 627-631.
- Ribéreau-Gayon, P., Dubourdieu, D., Donèche, B., & Lonvaud, A. (2003). *Tratado de enología: Vol. 1. Microbiología del vino, vinificaciones*. Mundi-Prensa; Hemisferio Sur.
- Ribéreau-Gayon, P., Glories, Y., Maujean, A., & Dubourdieu, D. (2003). *Tratado de enología: Vol. 2. Química del vino, estabilización y tratamientos*. Mundi-Prensa; Hemisferio Sur.
- Ribéreau-Gayon, P., & Stonestreet, E. (1965). Determination of Anthocyanins in red wine. *Bulletin de la Societe Chimique de France*, 9, 2649-2652.
- Rienth, M., Vigneron, N., Darriet, P., Sweetman, C., Burbidge, C., Bonghi, C., Walker, R. P., Famiani, F., & Castellarin, S. D. (2021). Grape berry secondary metabolites and their modulation by abiotic factors in a climate change scenario: A review. *Frontiers in Plant Science*, 12, Artículo e643258.
<https://doi.org/10.3389/fpls.2021.643258>
- Rolle, L., Englezos, V., Torchio F., Cravero F., Río Segade, S., Rantsiou, K., Giacosa, S., Gambuti, A., Gerbi, V., & Cocolin, L. (2018). Alcohol reduction in red wines by technological and microbiological approaches: A comparative study. *Australian Journal of Grape and Wine Research*, 24(1), 62-74.
<https://doi.org/10.1111/ajgw.12301>
- Sacchi, K. L., Bisson, L. F., & Adams, D. O. (2005). A review of the effect of winemaking techniques on phenolic extraction in red wines. *American Journal of Enology and Viticulture*, 56(3), 197-206.
<https://www.ajevonline.org/content/56/3/197.short>

- Sarneckis, C., Damberg, R., Jones, P., Mercurio, M., Herderich, M., & Smith, P. (2006). Quantification of condensed tannins by precipitation with methyl cellulose: Development and validation of an optimised tool for grape and wine analysis. *Australian Journal of Grape and Wine Research*, 12(1), 39-49. <https://doi.org/10.1111/j.1755-0238.2006.tb00042.x>
- Schmid, F., Schadt, J., Jiranek, V., & Block, D. E. (2009). Formation of temperature gradients in large- and small-scale red wine fermentations during cap management. *Australian Journal of Grape and Wine Research*, 15(3), 249-255. <https://doi.org/10.1111/j.1755-0238.2009.00053.x>
- Singleton, V., & Rossi, J. (1965). Colorimetry of total phenolics with phosphomolybdic-phosphotungstic acid reagents. *American Journal of Enology and Viticulture*, 16(3), 144-158. <https://www.ajevonline.org/content/16/3/144.short>
- Tachini, R., Bonnardot, V., Ferrer, M., & Fourment, M. (2023). Topography interactions with the Atlantic Ocean and its impact on *Vitis vinifera* L. 'Tannat'. *Vitis*, 62(4), 163-177. <https://doi.org/10.5073/vitis.2023.62.163-177>
- Tarara, J. M., Lee, J., Spayd, S. E., & Scagel, C. F. (2008). Berry temperature and solar radiation alter acylation, proportion, and concentration of anthocyanin in Merlot grapes. *American Journal of Enology and Viticulture*, 59(3), 235-247. <https://www.ajevonline.org/content/59/3/235.short>
- Tessarin, P., Parpinello, G. P., & Rombolà, A. D. (2018). Physiological and enological implications of postveraison trimming in an organically-managed Sangiovese vineyard. *American Journal of Enology and Viticulture*, 69(1), 59-69. <https://www.ajevonline.org/content/69/1/59.abstract>
- Vaillant-Gaveau, N., Wojnarowicz, G., Petit, A.-N., Jacquens, L., Panigai, L., Clement, C., & Fontaine, F. (2014). Relationships between carbohydrates and reproductive development in Chardonnay grapevine: Impact of defoliation and fruit removal treatments during four successive growing seasons. *Journal International des Sciences de la Vigne et du Vin*, 48(4), 219-229. <https://doi.org/10.20870/oeno-one.2014.48.4.1694>
- Velázquez, R., Zamora, E., Álvarez, M. L., Hernández, L. M., & Ramírez, M. (2015). Effects of new *Torulaspora delbrueckii* killer yeasts on the must fermentation kinetics and aroma compounds of white table wine. *Frontiers in Microbiology*, 6, Artículo e1222. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2015.01222>

- Vercesi, A., Gabrielli, M., Garavani, A., & Poni, S. (2024). Effects of apical, late-season leaf removal on vine performance and wine properties in Sangiovese grapevines (*Vitis vinifera L.*). *Horticulturae*, 10(9), Artículo e929. <https://doi.org/10.3390/horticulturae10090929>
- Vivas, N., Glories, Y., Lagune, L., Cédric, S., & Augustin, M. (1994). Estimation du degré de polymérisation des procyanidines du raisin et du vin par la méthode au p-diméthylaminocinnamaldéhyde. *Journal International des Sciences de la Vigne et du Vin*, 28(4), 319-336. <https://doi.org/10.20870/oenone.1994.28.4.1138>
- Vivas, N., Nonier, M.-F., Vivas de Gaulejac, N., Absalon, C., Bertrand, A., & Mirabel, M. (2004). Differentiation of proanthocyanidin tannins from seeds, skins and stems of grape (*Vitis vinifera*) and heartwood of Quebracho (*Shinopsis balansae*) by matrix assisted laser desorption/ionisation time of flight mass spectrometry and thioacidolysis/liquid chromatography/electrospray ionisation mass spectrometry. *Analytica Chimica Acta*, 513(1), 247-256. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0003267003015903>
- Zamora, F. (2003). *Elaboración y crianza del vino tinto: Aspectos científicos y prácticos*. AMV; Mundi-Prensa.
- Zhang, H.-L., Xia, N.-Y., Yao, X.-C., Duan, C.-Q., & Pan, Q.-H. (2024). Effects of phenolic evolution on color characteristics of single-cultivar *Vitis vinifera L.* Marselan and Merlot wines during vinification and aging. *Foods*, 13(3), Artículo e494. <https://doi.org/10.3390/foods13030494>
- Zhang, P., Wu, X., Needs, S., Liu, D., Fuentes, S., & Howell, K. (2017). The influence of apical and basal defoliation on the canopy structure and biochemical composition of *Vitis vinifera* cv. Shiraz grapes and wine. *Frontiers in Chemistry*, 5, Artículo e48. <https://doi.org/10.3389/fchem.2017.00048>

6. Anexos

Figura A1

Ficha para el análisis sensorial de los vinos

ANÁLISIS SENSORIAL DE VINOS TANNAT

TRABAJO FINAL DE GRADO

Yamila Celio Ackermann

Fecha: _____
Degustador: _____
Edad: _____

FASE VISUAL

The figure consists of two horizontal scales. The top scale is labeled "Intensidad del color" and has tick marks at 0 and 10. The bottom scale is labeled "Tonalidad" and also has tick marks at 0 and 10.

FASE OLFATIVA

Intensidad aromática

0 10

Calidad aromática

0 10

EASE GIUSTATIVA

The figure consists of six horizontal scales, each with a label on the left and numerical tick marks at 0 and 10 on the right. The labels are: Acidez, Etanol, Astringencia, Amargor, Persistencia, and Equilibrio. Each scale has a thin black line extending from the label to the 10 mark.

Observaciones: