

UNIVERSIDAD DE LA REPÚBLICA

FACULTAD DE AGRONOMÍA

**VINIFICACIÓN DE MÍNIMA INTERVENCIÓN: EVALUACIÓN DEL USO DE
QUITOSANO Y REDUCCIÓN DE SULFITOS AÑADIDOS EN CULTIVARES
MARSELAN, MERLOT Y TANNAT**

por

Alejandro CAMMAROTA TAIN

**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 – Sin Obra Derivada**”.



PÁGINA DE APROBACIÓN

Trabajo final de grado aprobado por:

Director/a:

Ing. Agr. (Dr.) Diego Piccardo

Codirector/a:

Lic. Bioq. (Dra.) Marcela González

Tribunal:

Lic. Bioq. (Dra.) Marcela González

Ing. Agr. (Dr.) Guzmán Favre

Ing. Agr. (Dra.) Mercedes Fourment

Fecha:

30 de octubre de 2025

Estudiante:

Alejandro Mario Cammarota Tain

AGRADECIMIENTOS

A mis compañeras de trabajo, Florencia y Yamila, con quienes compartí horas, días y semanas de arduo trabajo de laboratorio y bodega.

A mis mentores, Gustavo y Guzmán, por haberme brindado respuestas catedráticas en cada duda.

A mi cotutora, Marcela, por compartir sus conocimientos fundamentales y el apoyo constante a lo largo de este trabajo.

A mi tutor, Diego, por haberme acompañado incesablemente en cada etapa de este trabajo, brindándome las herramientas y el apoyo que cualquier tesista desearía.

A mis padres, Lyda y Mario, por su apoyo incondicional en todos estos años, y por haberme inculcado desde pequeño el valor del esfuerzo y el trabajo duro.

A cada uno de ustedes, mi más profundo agradecimiento por su invaluable contribución en este viaje.

En memoria de Kaiser y Fawn, mis hermanos de cuatro patas

*“Hasta que uno no ha amado a un animal,
una parte del alma permanecerá dormida”*

A.F.

TABLA DE CONTENIDO

PÁGINA DE APROBACIÓN	3
AGRADECIMIENTOS	4
LISTA DE TABLAS Y FIGURAS	7
RESUMEN	9
ABSTRACT	11
1. INTRODUCCIÓN	13
1.1 Viticultura en Uruguay	13
1.2 Relación entre la producción y el consumo de vino.	16
1.3 Tendencias de Consumo y Sostenibilidad	18
1.4 Introducción a la Sostenibilidad en la Industria del Vino.....	18
1.5 Definición y Principios de Sostenibilidad	19
1.6 Historia de la Viticultura Sostenible	19
1.7 La viticultura sostenible en Uruguay	19
1.8 Elaboración de vinos sin sulfitos o de mínima intervención en Uruguay	20
1.9 Vinos orgánicos, biodinámicos y de mínima intervención.....	20
1.10 Movimiento del vino natural.....	21
1.11 Aditivos empleados para reducir los contenidos de sulfitos en vinos de mínima intervención:	23
2. MATERIALES Y MÉTODOS	27
2.1 Características generales.....	27
2.2 Cosecha y composición de la uva	28
2.2.1 Composición de la uva	28
2.2.2 Cosecha de la uva.....	29
2.3 Procesado de la uva y encubado	31
2.4 Diseño experimental y Tratamientos	31
2.5 Prensado.....	32
2.6 Seguimiento de la fermentación	32
2.7 Análisis microbiológicos	33
2.8 Análisis del color y la composición físico-químico de los vinos.....	33
2.9 Análisis sensorial de los vinos	34
2.10 Procesamiento de los datos y Análisis estadístico	34
3. RESULTADOS.....	35
3.1 Composición de la uva en cosecha	35
3.1.1 Composición general.....	35

3.1.2 Composición fenólica.....	36
3.2 Cinética de la fermentación	37
3.2.1 Marselan.....	37
3.2.2 Merlot.....	38
3.2.3 Tannat.....	38
3.3 Análisis microbiológicos de los vinos	39
3.3.1 Marselan.....	39
3.3.2 Merlot.....	40
3.3.3 Tannat.....	42
3.4 Composición básica de los vinos a los 3 meses de envasado	43
3.4.1 Marselan.....	43
3.4.2 Merlot.....	45
3.4.3 Tannat.....	48
3.5 Color y composición fenólica de los vinos a los 3 meses de envasado	50
3.5.1 Marselan.....	50
3.5.2 Merlot.....	52
3.5.3 Tannat.....	54
3.6 Análisis sensorial de los vinos	56
3.6.1 Marselan.....	56
3.6.2 Merlot.....	56
3.6.3 Tannat.....	57
3.7 Análisis de componentes principales	58
4. DISCUSIÓN.....	61
4.1 Efecto de los tratamientos sobre la composición básica de los vinos.....	61
4.1.1 Efecto sobre la fermentación alcohólica	61
4.1.2 Efecto sobre el pH y la acidez del vino	63
4.2 Efecto de los tratamientos sobre el color y la composición fenólica de los vinos	64
4.2.1 Efecto sobre el color.....	64
4.2.2 Efecto sobre la composición fenólica	65
5. CONCLUSIONES.....	67
6. PERSPECTIVAS.....	69
7. BIBLIOGRAFÍA	70

LISTA DE TABLAS Y FIGURAS

Tabla No.	Pág.
Tabla 1 Superficie y producción según variedad	14
Tabla 2 Cantidad de tipo de vino elaborado	14
Tabla 3 Composición general de la uva en cosecha.....	35
Tabla 4 Composición fenólica de la uva en cosecha	36
Tabla 5 Composición fenólica y color según tratamiento de los vinos Marselan.....	51
Tabla 6 Composición fenólica y color según tratamiento de los vinos Merlot.....	53
Tabla 7 Composición fenólica y color según tratamiento de los vinos Tannat.....	55
Figura No.	Pág.
Figura 1 Consumo anual de vino en todo el mundo en millones de hectolitros.....	17
Figura 2 Ubicación de los viñedos	27
Figura 3 Delimitación de las regiones vitícolas según tipos climáticos y ubicación de viñedos.....	28
Figura 4 Precipitación y humedad durante madurez	30
Figura 5 Esquema de los tratamientos.....	32
Figura 6 Temperatura y densidad promedio durante la fermentación alcohólica de los mostos Marselan	37
Figura 7 Temperatura y densidad promedio durante la fermentación alcohólica de los mostos Merlot	38
Figura 8 Temperatura y densidad promedio durante la fermentación alcohólica de los mostos Tannat	39
Figura 9 Recuento de levaduras y bacterias ácido lácticas durante la vinificación de los vinos Marselan.....	40
Figura 10 Recuento de levaduras y bacterias ácido lácticas durante la vinificación de los vinos Merlot.....	41
Figura 11 Recuento de levaduras y bacterias ácido lácticas durante la vinificación de los vinos Tannat	42
Figura 12 Composición básica de los vinos Marselan	44
Figura 13 Composición básica de los vinos Merlot	46
Figura 14 Acidez total de los vinos Merlot a los tres meses del descube.....	47
Figura 15 Acidez volátil de los vinos Merlot a los tres meses del descube.....	47
Figura 16 Composición básica de los vinos Tannat	49

Figura 17 Acidez total de los vinos Tannat.....	50
Figura 18 Análisis sensorial de los vinos Merlot	57
Figura 19 Análisis sensorial de los vinos Tannat	58
Figura 20 Análisis de componentes principales en función del cultivar	59
Figura 21 Análisis de componentes principales en función del tratamiento	60

RESUMEN

El anhídrido sulfuroso es uno de los aditivos más empleados en la industria alimentaria por sus propiedades antimicrobianas y antioxidantes. En enología es el insumo más utilizado debido a su capacidad para inhibir el desarrollo de microorganismos indeseables y prevenir alteraciones oxidativas. Sin embargo, se ha constatado que el 1% de los consumidores puede presentar reacciones adversas como broncoespasmos, bradicardia, urticaria, angioedema, hipotensión, diarrea, dermatitis y reacciones anafilácticas. El vino representa una de las principales fuentes de ingesta de sulfitos en adultos, superando en muchos casos los niveles diarios admisibles. En este contexto, los vitivinicultores han respondido a estas preocupaciones adoptando estrategias de elaboración más sostenibles y seguras, minimizando los impactos negativos, con el objetivo de elaborar productos alineados con la demanda del mercado contemporáneo, sin comprometer la calidad del producto final. En este estudio se evaluaron alternativas para reducir o sustituir el uso de sulfitos añadidos, mediante técnicas de mínima intervención. Estos estudios se realizaron a escala experimental durante la vendimia 2024 en los cultivares Marselan, Merlot y Tannat. Se analizó la cinética de fermentación, la composición microbiológica, fisicoquímica, fenólica, así como el color de los vinos. Los tratamientos de mínima intervención se vinificaron sin agregado de levaduras, siendo Q, agregado de quitosano (100 mg/L), SO₂R corresponde a reducción de sulfitos añadidos (30 mg/L), SO₂R+Q es una combinación de los tratamientos anteriores, y un tratamiento testigo (VT) con adición convencional de anhídrido sulfuroso (125 mg/L) y siembra de levaduras seleccionadas. Los recuentos microbiológicos mostraron que, en Marselan y Merlot, los vinos testigo presentaron menor población de levaduras que los tratamientos de mínima intervención, sin diferencias significativas en bacterias ácido lácticas. En Tannat el tratamiento testigo mostró menores recuentos de estas bacterias, sin diferencias en la población de levaduras. La cinética de fermentación fue más lenta en los mostos de mínima intervención en comparación con el tratamiento testigo. El tratamiento con quitosano mostró la mayor intensidad colorante en los tres cultivares. En cuanto a polifenoles totales, SO₂R y VT mostraron las mayores concentraciones en Marselan y Merlot, mientras que en Tannat, los mayores valores se observaron en Q y SO₂R+Q. El análisis sensorial en Merlot no se observaron diferencias entre tratamientos. Mientras que en Tannat, los vinos Q y SO₂R obtuvieron la misma preferencia que el testigo. En Marselan no se realizó la evaluación sensorial debido a su acidez volátil por encima de los límites legales, lo que resalta la importancia del estado sanitario y calidad de la materia prima para este tipo de

vinificaciones. Este trabajo aporta evidencia técnica sobre el impacto de estrategias de mínima intervención en la estabilidad microbiológica y composición enológica del vino, y representa un aporte a la búsqueda de prácticas más sostenibles en la vitivinicultura contemporánea.

Palabras clave: anhídrido sulfuroso, levaduras nativas, conservación del vino

ABSTRACT

Sulfur dioxide is one of the most widely used additives in the food industry due to its antimicrobial and antioxidant properties. In winemaking, it is the most widely used additive due to its ability to inhibit the growth of undesirable microorganisms and prevent oxidative changes. However, it has been classified as slightly toxic, negatively affecting the health of 1% of consumers and causing reactions such as bronchospasm, bradycardia, urticaria, angioedema, hypotension, diarrhea, dermatitis, and anaphylactic reactions. Wine is one of the main sources of sulfite intake in adults, often exceeding acceptable daily levels. In this context, winemakers have responded to these concerns by adopting more sustainable and safer production strategies, minimizing negative impacts, with the aim of producing safe products that are in line with contemporary market demand, without compromising the quality of the final product. This study evaluated alternatives to reduce or replace the added sulfite content in wines from the Marselan, Merlot, and Tannat cultivars, produced with minimal intervention during the 2024 harvest. The fermentation kinetics, microbiological, physicochemical, phenolic, and colorimetric composition of the wines were analyzed. The minimal intervention treatments were vinified without the addition of yeasts, with Q being the addition of chitosan (100 mg/L), SO₂R corresponds to a reduction in added sulfites (30 mg/L), SO₂R+Q is a combination of the above treatments, and a control treatment (VT) with conventional addition of sulfur dioxide (125 mg/L) and inoculation of selected yeasts. Microbiological counts showed that, in Marselan and Merlot, the control wines had a lower yeast population than the minimal intervention treatments, with no significant differences in lactic acid bacteria. In Tannat, the control treatment showed lower counts of these bacteria, with no differences in the yeast population. Fermentation kinetics were slower in the minimal intervention musts compared to the control treatment. The chitosan treatment showed the highest color intensity in all three cultivars. In terms of phenolic composition, SO₂R and VT showed the highest concentrations in Marselan and Merlot, while in Tannat, the highest values were observed in Q and SO₂R+Q. Sensory analysis in Merlot showed no differences between treatments. In Tannat, the Q and SO₂R wines obtained the same preference as the control. At Marselan, sensory evaluation was not performed due to the general condition of the wine, highlighting the importance of the health and quality of the raw material. This work provides technical evidence on the impact of minimal intervention strategies on the microbiological stability and oenological composition of wine, and

represents a contribution to the search for more sustainable practices in contemporary viticulture.

Key words: sulfur dioxide, native yeast, wine conservation

1. INTRODUCCIÓN

1.1 Viticultura en Uruguay

La producción vitícola en Uruguay cuenta con 1103 viñedos distribuidos en 5905 hectáreas, según los datos nacionales informados por el Instituto Nacional de Vitivinicultura (INAVI) en 2023. De acuerdo con esta información, la mayoría de los viñedos se concentra en el sur del país, particularmente en los departamentos de Canelones (66 %), Montevideo (15 %), Colonia (7%) y San José (3%), con un crecimiento reciente en Maldonado (4%). Los viñedos son gestionados por un total de 794 productores, distribuidos en 726 empresas. La tenencia de tierra es mayoritariamente propiedad de los productores (42 %), aunque también existen modalidades como el comodato (31 %) y el arrendamiento (19 %). Los viñedos con superficies entre 5 y 20 hectáreas constituyen la categoría predominante, representando el 44 % de la superficie total plantada. Por su parte, los viñedos con más de 20 ha abarcan un tercio de la superficie (29 %), mientras que aquellos con una extensión menor a 5 ha representan un 27 %. En los últimos años, los viñedos de menor superficie (1 – 20 ha) han mostrado una tendencia a la disminución tanto en número como en superficie en comparación con períodos anteriores. En tanto que, aumentó el número de viñedos con superficies mayores a 20 hectáreas. La edad de los viñedos oscila entre 11 y 30 años, destacándose como las variedades más plantadas Tannat (27 %), Moscatel de Hamburgo (17 %) y Merlot (11 %) (INAVI, 2023). En cuanto al sistema de conducción, predominan los viñedos en espaldera alta (57 %) y lira (25 %). El portainjerto predominante es el SO4, representando el 63 % del total de la superficie nacional, seguido por 3309 C (12 %), siendo P1103, R110 y 101-14 minoritarios.

De la información proporcionada por INAVI (2023), se desprende que el material vegetal predominante es de origen importado (3.793 ha) seguido por material de origen nacional (2.105 ha) y 7 hectáreas de origen desconocido.

En 2023, se produjo un total de 71.378.947 kilos de uva, de los cuales el 96 % tuvo como destino principal la vinificación y el 4 % el consumo en fresco. Tannat fue la variedad tinta con mayor producción (27,5 %), seguida por Moscatel de Hamburgo para vino (21,2 %), Merlot (8,6 %), Cabernet Sauvignon (3,8 %) y Marselan (3,2 %) (INAVI, 2023). Considerando que el destino principal de la variedad Moscatel de Hamburgo es la elaboración de vino rosado común (de mesa), Marselan es la cuarta variedad destinada a

la elaboración de vinos tintos más relevante en cuanto a superficie y producción (Tabla 1).

Tabla 1

Superficie y producción según variedad

Cultivar	Superficie		Producción	
	(ha)	(%)	(kg)	(%)
Tannat	1.566	26,5	19.654.247	27,5
Moscatel de Hamburgo	1.049	17,8	15.156.855	21,2
Merlot	615	10,4	6.110.378	8,56
Cabernet Sauvignon	334	5,7	2.730.252	3,8
Marselan	198	3,4	2.265.882	3,2

Nota. Elaborado a partir de datos de cosecha efectiva (INAVI, 2023).

En consecuencia, se elaboraron 50.227.288 litros de vino, de los cuales el 61% corresponde a elaboración de vinos tintos, 11 % a vinos blancos y 28% a vinos rosados y claretes (Tabla 2).

Tabla 2

Cantidad de tipo de vino elaborado

Vino	Tinto	Blanco	Rosado	Clarete	Total
Volumen (L)	30.648.562	5.652.058	12.120.472	1.806.196	50.227.288
Porcentaje (%)	61,0	11,3	24,1	3,6	100

Nota. Elaborado a partir de datos de cosecha efectiva (INAVI, 2023).

Debido a su importancia en la elaboración de vinos tintos, este trabajo se llevó a cabo empleando uvas de los cultivares Tannat, Merlot y Marselan. A continuación, se describen las características más relevantes de cada cultivar:

El cultivar Tannat (número 12257; Julius Kühn-Institut, 2025c; Vitis International Variety Catalogue, 2025c) fue introducido al Uruguay desde el sudoeste de Francia en 1870 por Pascual Harriague. La importancia de este cultivar para vitivinicultura nacional reside en la superficie vitícola que ocupa y la producción que representa (Tabla 1), así como también en su adaptación a las condiciones agroclimáticas de nuestro país (Ferrer,

González-Neves, Echeverría, Camussi, Avondet, Fourment et al., 2011; Ferrer, González-Neves, Echeverría, Camussi, Avondet, Salvarrey et al., 2011). Esta cepa se caracteriza por presentar racimos grandes, de bayas redondeadas que van desde pequeñas a medianas, las hojas adultas son de gran tamaño y de forma pentagonal (Plantgrape, 2023c). En madurez tecnológica, las uvas de esta variedad presentan una elevada concentración de azúcares, acidez total, polifenoles totales y antocianos extraíbles con bajos valores de pH (González-Neves, Gil et al., 2006). Las uvas de este cultivar presentan una baja extractibilidad de los antocianos, con un perfil antociánico donde la petunidina es el antociano más importante luego de la malvidina, y con una baja proporción de antocianos acetilados en relación a otros cultivares como Merlot y Cabernet Sauvignon (González-Neves, 2005). Sensorialmente, sus vinos tintos tienen el potencial de presentar buena estructura y color intenso, con tonalidades violáceas, siendo características distintivas de este cultivar. La adaptación del Tannat a las condiciones edafoclimáticas de Uruguay, así como su manejo en el viñedo, el potencial enológico de sus uvas, la composición del vino y su potencial para la crianza ha sido estudiados y reportados en numerosas publicaciones realizadas por investigadores de la Universidad de la República (Boido et al., 2006; Carrau et al., 2011; Favre et al., 2013; González-Neves, 2005; González-Neves et al., 2012; Piccardo & González-Neves, 2013).

El cultivar Merlot (número 7657, Vitis International Variety Catalogue, 2025b) es originaria de Burdeos, Francia y proviene de una cruce entre Magdeleine noire des Charentes x Cabernet Franc (Julius Kühn-Institut, 2025b). Sus bayas poseen un color azul intenso que le da el nombre en el dialecto de donde es originaria. En Uruguay representa el 10 % de la superficie vitícola y su producción respecto al total es cercana al 9 % (Tabla 1). El Merlot se adapta bien a terrenos arcillo-calcáreo, además, es bastante sensible a heladas y no tolera sequías intensas (Plantgrape, 2023b). Este cultivar, ha sido estudiado en conjunto con Tannat, encontrándose como características que presentan mayores proporciones de cumaratos y peonidina que Tannat (González-Neves, Gil et al., 2006). Los vinos tintos de este cultivar se caracterizan por presentar una intensidad colorante media, con tonalidades rojo rubí y aromas frutados (González-Neves, Ferrer et al., 2006). En boca presentan cuerpo medio, acidez moderada a fresca y predominantemente taninos de bajo peso molecular (González-Neves et al., 2015), lo que aporta redondez y equilibrio, favoreciendo su consumo joven o su uso en cortes con cultivares con mayor riqueza fenólica como el Tannat.

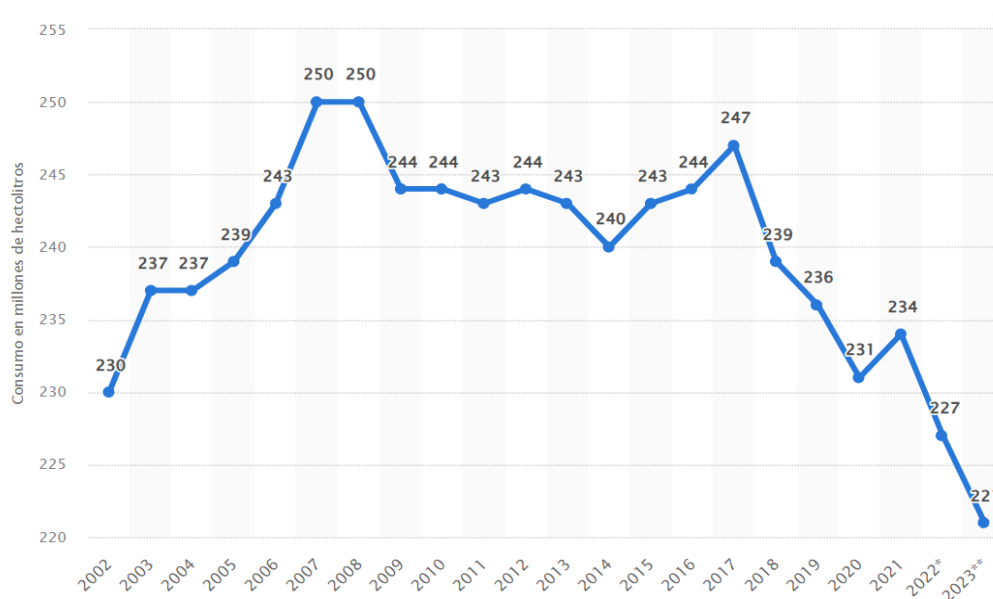
Marselan (número 16383; Julius Kühn-Institut, 2025a; Vitis International Variety Catalogue, 2025a) en Uruguay representa el 3,4 % de la superficie total dedicada a la viticultura y contribuye con el 3,2 % de la producción nacional (Tabla 1). Es originaria de la región de Marseillan en Francia y resulta de un cruzamiento entre dos variedades conocidas como Cabernet Sauvignon y Grenache noir. Esta variedad presenta racimos de tamaño grande, mientras que sus bayas son muy pequeñas y presentan una gran cantidad de pruina. Su rendimiento en mosto es limitado presentando bajo contenido de jugo (160 kg/hL) (Plantgrape, 2023a). Este cultivar presenta menor capacidad para extraer taninos desde los hollejos durante la vinificación, en consecuencia, sus vinos presentan proporciones elevadas de taninos derivados de semillas (Favre et al., 2023). Los vinos de este cultivar presentan un color intenso, una estructura y aromas que recuerdan a la grosella negra (Alcalde-Eon et al., 2006).

1.2 Relación entre la producción y el consumo de vino.

El consumo de vino tinto ha experimentado un marcado declive en los últimos veinte años, especialmente en los principales mercados europeos como Alemania, Francia, Italia y España, donde su tasa de crecimiento ha sido consistentemente negativa desde el inicio del siglo. En contraste, la Organización Internacional de la Viña y el Vino indica que países emergentes como China, Estados Unidos, Rusia y Brasil han mostrado un crecimiento positivo en su consumo, aunque no lo suficiente para revertir la tendencia actual global (Organización Internacional de la Viña y el Vino [OIV], 2023).

Figura 1

Consumo anual de vino en todo el mundo en millones de hectolitros



Nota. *Cifras provisionales. **Estimaciones. Statista (2024) como se cita en “La patronal europea del vino” (2024).

En Argentina, según datos publicados por el Instituto Nacional de Vitivinicultura en 2023, como se cita en Zalazar (2024), el consumo per cápita está en el nivel más bajo desde que se cuenta con registros. Esto se debe a que la caída en el consumo se incrementa año tras año. En consecuencia, a principio de siglo el consumo per cápita era de casi 40 litros por año, mientras que en 2023 esa cifra descendió hasta los 17 litros (Zalazar, 2024).

En este contexto, y frente a un consumidor que busca productos diferenciados y alineados con nuevas tendencias, muchas bodegas han diversificado su oferta hacia segmentos innovadores, entre los que destacan los vinos con reducido contenido de sulfitos, los vinos de mínima intervención, los espumosos naturales, así como elaboraciones con variedades no tradicionales o métodos que resaltan la identidad territorial y la sostenibilidad enológica.

Este cambio en la percepción del consumidor está reflejado en estudios recientes. D’Amico et al. (2016) demostraron que los consumidores mostraron una alta disposición a pagar más por vinos sin sulfitos añadidos, percibidos como menos perjudiciales para la salud. Esta disposición a pagar está motivada por la curiosidad, la denominación de origen, las preocupaciones ambientales y la ausencia de pesticidas. La información de la

etiqueta, que incluye el contenido de ingredientes, el método de producción y las características sensoriales, juega un papel crucial en la decisión de compra, junto con la ocasión de consumo (Galati et al., 2019). Además, una encuesta realizada en el 2024 a Lulie Halstead (directora de Wine Intelligence), reveló un alto interés por los vinos producidos de manera sostenible entre los consumidores habituales en Estados Unidos, Canadá, Suecia y el Reino Unido (De la Fuente, 2024). Los programas de certificación sostenible son percibidos favorablemente, y especialmente las generaciones Y (Millennials) y Z muestran una disposición significativa a pagar más por el vino producido de esta manera (Wine Institute, 2020).

1.3 Tendencias de Consumo y Sostenibilidad

Una de las principales motivaciones detrás de esta creciente orientación hacia la sostenibilidad es el cambio en el comportamiento de los consumidores. Cada vez más, las decisiones de compra se basan no solo en las características del producto, sino también en su impacto ambiental y social. Para que este conjunto de prácticas sostenibles sea efectivo, es crucial que los consumidores estén dispuestos a pagar un precio adicional (Forbes et al., 2009; González et al., 2018) para cubrir el costo de estas prácticas (Delmas & Lessem, 2015; Johansen, 2010).

1.4 Introducción a la Sostenibilidad en la Industria del Vino

En los últimos años, la industria agroalimentaria ha incorporado los principios fundamentales de la sostenibilidad en sus modelos de negocio (Schimmenti et al., 2016). En particular la industria del vino, tradicionalmente considerada como una de las más ecológicas (Scott Marshall et al., 2005), también ha adoptado un número creciente de iniciativas destinadas a incrementar la sostenibilidad de sus prácticas y la calidad de sus productos.

En la última década, este concepto de sostenibilidad ha generado un notable interés (Remaud et al., 2008). A medida que las bodegas compiten cada vez más en la diferenciación de sus productos, varias de ellas han integrado el concepto de sostenibilidad en sus modelos de producción. Este esfuerzo por parte de los vitivinicultores busca promover un uso más eficiente de los recursos y minimizar efectos perjudiciales para el medio ambiente, resultando en la elaboración de productos inocuos para el consumidor, respondiendo así a la demanda del mercado contemporáneo (Sellers-Rubio & Nicolau-Gonzalbez, 2016).

1.5 Definición y Principios de Sostenibilidad

El concepto de sostenibilidad más aceptado se define a través de tres principios superpuestos: producción ambientalmente responsable, económicamente viable y socialmente equitativa (Cassen, 1987). En términos generales, la producción de vino sostenible abarca prácticas de cultivo y vinificación que son respetuosas con el medio ambiente, económicamente viables de implementar y de mantener a lo largo del tiempo (económicamente factibles), y orientadas a las necesidades e intereses de la sociedad en general (Sellers-Rubio & Nicolau-Gonzalbez, 2016).

1.6 Historia de la Viticultura Sostenible

La fundación del primer programa de viticultura sostenible se estableció en 1992, cuando la Comisión de Vinos de Lodi (California, EE. UU.) lanzó un programa de Manejo Integrado de Plagas (Szolnoki, 2013). Este programa introdujo prácticas agrícolas sostenibles a través de reuniones de productores vecinos (Ross & Golino, 2008). Más de una década después, las primeras seis bodegas fueron certificadas según el Código de Prácticas Vitivinícolas Sostenibles de California (Warner, 2007). Posteriormente, en 1995, Nueva Zelanda lanzó su Política de Vinos Sostenibles, basada en el programa nacional sostenible (New Zealand Wine, 2020). Desde entonces, otras instituciones y organizaciones también han definido sus directrices para la viticultura sostenible (Integrated Production of Wine, s.f.). Australia introdujo en 2009, el programa “McLaren Vale Sustainable Winegrowing Australia”, caracterizado por la autoevaluación y la mejora continua en términos de sostenibilidad (McLaren Vale Grape, Wine & Tourism Association [MVSWA], 2021). La resolución CST 1/2004 de la OIV establece directrices para la producción de uvas, vinos, licores y otros productos de la vid de acuerdo con los principios del desarrollo sostenible aplicados a la vitivinicultura (OIV, 2004), que se amplió en 2008 (OIV, 2008).

1.7 La viticultura sostenible en Uruguay

En Uruguay, el organismo rector de la vitivinicultura es el Instituto Nacional de Vitivinicultura (INAVI), una institución de derecho público no estatal. El Programa de Viticultura Sostenible propuesto por INAVI en 2019 (INAVI, s.f.) fue desarrollado para los viñedos con el fin de fomentar una viticultura respetuosa con el medioambiente, minimizando riesgos en las condiciones de trabajo, y brindando una producción inocua como materia prima para la elaboración de vino. En este sentido, el programa garantiza la implementación de prácticas sostenibles en el viñedo, la optimización del uso del agua

y el suelo, la priorización de estrategias naturales para el control de plagas y la trazabilidad de la uva hasta el envase final del vino. Sin embargo, este programa no cubre aspectos de sostenibilidad durante el proceso de elaboración del vino.

La certificación y auditoría de los viñedos está a cargo del Laboratorio Tecnológico del Uruguay y Quality Austria (LSQA), asegurando la trazabilidad y el cumplimiento de los procesos preestablecidos. El sello Uruguay Sustainable Winegrowing representa el compromiso con la producción sostenible de uva. Para el año 2023, más del 30% de la producción vitivinícola uruguaya cuenta con esta certificación, y unas 26 bodegas están habilitadas para identificar sus vinos con el sello Sustainable Winegrowing Uruguay Certified (INAVI, 2023).

1.8 Elaboración de vinos sin sulfitos o de mínima intervención en Uruguay

Adicionalmente, en los últimos años varias bodegas uruguayas elaboran vinos sin sulfitos añadidos. Esta tendencia busca captar nuevos consumidores a través de la diferenciación del producto.

1.9 Vinos orgánicos, biodinámicos y de mínima intervención

A diferencia de los vinos elaborados mediante prácticas tradicionales, los vinos denominados orgánicos, biodinámicos y naturales se producen a partir de métodos que priorizan la salud del suelo, la biodiversidad y una expresión genuina del viñedo. Estos métodos, aunque más laboriosos y menos predecibles, responden a una demanda de productos sostenibles y menos procesados (Rosenson, 2022; Selinger, 2023; Vinissimus, s.f.).

Los vinos orgánicos se elaboran a partir de uvas certificadas como orgánicas, lo que implica que fueron cultivadas sin el uso de pesticidas, herbicidas ni fertilizantes químicos sintéticos. En su lugar, los productores emplean técnicas naturales y mínimas intervenciones enológicas, evitando aditivos químicos aún durante el proceso de vinificación. Además, estos vinos promueven un manejo amigable con los recursos naturales, sustituyendo productos químicos por alternativas compatibles con la agricultura ecológica (Cravero, 2019; Maykish et al., 2021; Tirzo, 2024).

La biodinámica le da un enfoque holístico al viñedo, tratando al suelo como un ser vivo y considerando a la cepa como un componente más de este ecosistema interconectado y autónomo (Castellini et al., 2017). Inspirada por principios de sostenibilidad, estas prácticas buscan potenciar la relación natural entre todos los

elementos del viñedo, promoviendo su equilibrio y salud. En la producción de vinos biodinámicos, los viticultores emplean preparados específicos y compostajes diseñados para mejorar la calidad del suelo y las plantas, fomentando una biodiversidad que fortalece las viñas sin necesidad de intervención química (Cravero, 2019). Además, las prácticas están alineadas con el calendario astral, considerando la posible influencia de las energías cósmicas en el proceso de cultivo (Maykish, et al., 2021; Tirzo, 2024).

Por otra parte, los vinos de mínima intervención o vinos de método natural se elaboran considerando a través de una vendimia manual de viñedos certificados como orgánicos (L'Association des Vins Naturels, 2018). La vinificación se realiza con levaduras provenientes del viñedo y la bodega y está prohibido el uso de insumos enológicos (enzimas, ácido tartárico, nutrientes, taninos, etc.). Además, se prohíbe cualquier método que altere la composición de la uva, tales como, pasteurizado, agregado de azúcar (chaptalización), concentración de mosto (termovinificación) y la reducción de alcohol (ósmosis inversa), la fermentación maloláctica debe ocurrir con bacterias nativas (Vin method nature, s.f.). Se permite el agregado de sulfitos en dosis máxima de 30 mg/L indicado en etiqueta como vino de método natural con menos de 30 mg/L de sulfitos añadidos (Maykish et al., 2021). En los vinos sin sulfitos añadidos se debe indicar en la etiqueta vino de método natural sin sulfitos añadidos. Además, desde el año 2009 la OIV permitió el uso de quitosano de origen fúngico con dosis de hasta 10 g/hl con el fin de reducir la presencia de microorganismos alterantes como *Brettanomyces* (OIV, 2009). No está permitido la estabilización tartárica, la filtración, la regulación de acidez, la adición de taninos ni la microoxigenación. La crianza en barrica está permitida, aunque queda prohibida cualquier otra adición de madera al mosto/vino (L'Association des Vins Naturels, 2018).

1.10 Movimiento del vino natural

Actualmente, el movimiento del vino natural está en auge, pero enfrenta desafíos significativos debido a la falta de una definición legal clara. Los vinicultores naturales intentan diferenciarse de los productores convencionales a través del etiquetado y el marketing (Marcos, 2025). Sin embargo, la ausencia de una definición legal para el término “vino natural” ha llevado a que los organismos reguladores sancionen a los vinicultores por usar términos no verificables en las etiquetas, lo que podría inducir a engaño (Legeron, 2018).

El 25 de marzo de 2020, Francia incorporó por primera vez en su marco normativo la designación “**vin méthode nature**” (vino de método natural), destinada a identificar vinos elaborados conforme a criterios específicos asociados a la mínima intervención enológica (Vin method nature, s.f.). Esta regulación fue el resultado de un proceso impulsado por el *Syndicat de Défense des Vins Naturels*, en coordinación con la *Direction générale de la concurrence, de la consommation et de la répression des fraudes* y autoridades gubernamentales, con el objetivo de establecer un estándar oficial para esta categoría de productos (Terra Hominis, s.f.). Este reconocimiento permite que los viticultores europeos se unan al SDVN y certifiquen sus vinos bajo esta marca. La certificación “vino de método natural” se enfoca en la forma de producción y el método de vinificación en lugar de una categoría de vino específica (Alonso et al., 2022) y exige, entre otros requisitos ya mencionados, que las uvas provengan de viñedos orgánicos, que sean cosechadas a mano y que no se apliquen aditivos ni procesos físicos como la pasteurización, osmosis inversa, membranas, filtrado ni clarificación durante su elaboración. Las regulaciones permiten el agregado de anhídrido sulfuroso en una única dosis de 30 mg/L, previo al envasado (Les vins naturels, s.f.).

Más allá de Francia, no existe una definición legal ni organismos que certifiquen los vinos naturales, como consecuencia, no existe unanimidad respecto a su definición entre consumidores, críticos o incluso entre los propios productores (Mendoza, 2024). La falta de una definición legal uniforme ha llevado a que diferentes países y organizaciones definan el vino natural de manera diversa. En Alemania, Estados Unidos y el Reino Unido, Legeron (2021), la fundadora de RAW WINE, definió al vino natural como aquel cultivado de manera orgánica o biodinámica y elaborado sin añadir ni quitar nada de la bodega, sin aditivos y con mínima intervención durante la fermentación. En Italia, estos vinos no tienen una certificación oficial, pero existe un consorcio de viticultores sin fines de lucro (Vini Veri), que promueve la producción de vinos naturales bajo una estricta regulación. La asociación “Vini Veri” (s.f.) exige uvas de viñedos orgánicos y un contenido de sulfitos inferior a 80 mg/L en vinos secos y hasta 100 mg/L en vinos dulces, mientras que otra asociación de productores de vinos naturales “Associazione VinNatur” (s.f.) que reúne productores de 12 países, exige un contenido de sulfitos total inferior a 30 mg/L en vinos tintos y hasta 50 mg/L en blanco, rosado, espumoso y dulce. En España, la “Asociación de Productores de Vino Natural” (fundada en 2008), definió vino natural a todo aquel vino elaborado sin añadir ni quitar nada, y estableció normas como la

ausencia de fertilizantes químicos, herbicidas, pesticidas, fungicidas sistémicos, organismos genéticamente modificados y sulfitos (Asociación de Productores de Vinos Naturales, 2015).

Las principales críticas al movimiento del vino natural están asociadas con la falta de una definición estandarizada para el término “natural” (Reglamento CE, nº 1169/2011) y la ausencia de regulación que no permite aplicar un sistema de certificación. Esto crea confusión entre los consumidores ya que el término “natural” no puede ser reportado en la etiqueta y solo pueden basarse en la limitada información que brinda la etiqueta para inferir las características de “naturalidad” de un vino. En este trabajo se utilizará el término de “mínima intervención”.

1.11 Aditivos empleados para reducir los contenidos de sulfitos en vinos de mínima intervención:

El anhídrido sulfuroso es uno de los aditivos más empleados en la industria alimentaria, gracias a sus propiedades antimicrobianas y antioxidantes (Santos et al., 2012). El dióxido de azufre o anhídrido sulfuroso (SO_2), puede producirse de manera endógena durante los procesos de fermentación, así como también puede ser añadido externamente. De hecho, es uno de los insumos más utilizado en enología debido a su actividad antioxidante protegiendo al vino contra oxidaciones químicas que podrían comprometer su composición fenólica y aromática. Además, su acción antioxidásica inhibe instantáneamente la actividad de ciertas oxidasas específicas como la tirosinasa y la lacasa, enzimas presentes en uvas de forma natural y en aquellas afectadas por *Botrytis cinerea* respectivamente (Ribéreau-Gayon et al., 2006).

El SO_2 presenta además una potente acción antiséptica, inhibiendo el desarrollo de microorganismos (bacterias lácticas y acéticas) que afectan negativamente el producto final (Ough & Crowell, 1987). Además, puede penetrar la membrana celular de los microorganismos desencadenando el deterioro de la misma (Helander et al., 2001). Una vez dentro de la célula, inactiva enzimas y proteínas que desempeñan un papel fundamental en el ciclo de vida de los microorganismos, como la gliceraldehído-3-fosfato deshidrogenasa (GAPDH), la ATPasa y la NAD^+ glutamato deshidrogenasa (Li et al., 2024).

Otras propiedades del anhídrido sulfuroso son: el retardo en el arranque de la fermentación alcohólica que posibilita el desfangado de los mostos blancos, la intensa acción degradante sobre los hollejos que permite una mayor maceración en las

vinificaciones en tinto y la mejora en el mantenimiento de los aromas de los vinos (Hidalgo Togores, 2003).

El dióxido de azufre presenta un equilibrio químico complejo con el medio, por lo que puede adquirir diversas formas en el vino. La forma del anhídrido sulfuroso libre, se corresponde al gas sulfuroso disuelto (SO_2) como tal, o a sus diversas formas inorgánicas (SO_3H_2). Esta fracción constituye la forma activa y es la que posee la mayor parte de las propiedades enológicas (Hidalgo Togores, 2002). El anhídrido sulfuroso también puede estar en forma combinada con diversos compuestos orgánicos, esta fracción es más abundante que la forma libre, pero no posee actividad antiséptica o antioxidante tan marcada (Weibel, s.f.). La suma de las dos formas del anhídrido sulfuroso arroja el anhídrido sulfuroso total en el vino terminado.

Las múltiples propiedades de este compuesto en la realización y conservación de los vinos, ha supuesto que en la actualidad no exista otra sustancia o tratamiento capaz de sustituirlo.

En dosis adecuadas (hasta 0,7 mg/kg de masa corporal/día) (Younes et al., 2022), el anhídrido sulfuroso es una sustancia inocua para el hombre, aunque desde el punto de vista de la fisiología de los seres humanos y a las dosis habituales contenidas en vinos, se clasifica como ligeramente tóxica. Altos contenidos de este compuesto en vinos han demostrado afectar la salud del 1% de los consumidores, provocando síntomas como broncoespasmo, bradicardia, urticaria, angioedema, hipotensión, diarrea, dermatitis y en algunos casos, reacciones anafilácticas (Vally et al., 2009). En gran parte de la población, la ingesta de anhídrido es superior a la admisible diariamente, siendo el vino la principal fuente de sulfitos en la población adulta.

La OIV permite una dosis máxima de SO_2 total de 150 mg/L para vinos tintos secos (< 4 g/L de azúcares residuales) (OIV, 2016). En Uruguay el límite máximo de anhídrido sulfuroso total para este tipo de vinos es de 275 mg/L. Para los vinos de calidad preferente (VCP) se estableció un límite de 200 mg/L, mientras que, para vinos con más de 4 g/L de azúcares reductores se permitió el agregado de hasta 300 mg/L (OIV, 2016).

El quitosano es un polímero natural derivado de la quitina, segunda molécula más abundante después de la celulosa (Shahidi et al., 1999). Se encuentra en los exoesqueletos de insectos y crustáceos, así como también en las paredes celulares de algunos hongos, levaduras y algas. Como polímero natural tiene gran potencial en diferentes aplicaciones,

en el área de la salud, en el tratamiento aguas y en la agroindustria (Dash et al., 2011). El quitosano de uso enológico proviene del hongo *Aspergillus niger* y se obtiene a partir de la desacetilación de la quitina en un medio alcalino, dando como resultado un polisacárido con cargas positivas hacia el exterior. Este polisacárido es considerado no tóxico y no puede ser digerido por los humanos, por lo que se considera como una fibra con cero calorías (Goycoolea et al., 2000).

En enología, el quitosano es utilizado para facilitar la clarificación de mostos y el desfangado, eliminar cationes metálicos (hierro, plomo, cadmio y cobre) previniendo quiebras férricas y cúpricas, e inhibir la actividad microbiológica debido a su acción antiséptica (Bertrand et al., 2024). La actividad antimicrobiana es de amplio espectro (Ough & Crowell, 1987), por lo que actúa contra bacterias (Gram positivas y Gram negativas), hongos filamentosos y levaduras. Para estos últimos, la actividad antimicótica del quitosano, suprime la esporulación, evitando la reproducción de los hongos. En cuanto a bacterias, el quitosano afecta los procesos de generación de energía dentro de ellas, causando un inadecuado funcionamiento de todo el aparato celular de la siguiente manera: las cargas positivas del quitosano interactúan con las cargas negativas de la membrana celular interfiriendo con el intercambio de nutrientes (Xu et al., 2007). Además, estas cargas compiten con el calcio por los sitios electronegativos de la membrana celular, causando inestabilidad y comprometiendo la integridad de la membrana, lo que produce la liberación del material intracelular y finalmente la muerte celular (Giraldo, 2015).

El quitosano fue autorizado por la OIV debido a su origen natural, en 2009 para su uso en vinos con el objetivo de reducir la presencia de microorganismos no deseados permitiendo una dosis máxima de 10 g/hL (OIV, 2009).

En consecuencia, este proyecto plantea la hipótesis de que es posible elaborar vinos de mínima intervención empleando dosis reducidas o sustitución con quitosano de anhídrido sulfuro y a partir de los cultivares Marselan, Merlot y Tannat, sin ocasionar un detrimento en su composición fisicoquímica y sus características sensoriales.

Objetivo

Este trabajo tiene como objetivo principal evaluar la viabilidad de la vinificación de mínima intervención mediante alternativas de reducción o sustitución con quitosano del anhídrido sulfuroso, aplicadas a cultivares de *Vitis vinifera* como Marselan, Merlot y Tannat.

Como objetivos específicos:

- Analizar los efectos de los tratamientos de mínima intervención (uso de quitosano, sulfitado reducido, combinación de ambos) sobre la cinética fermentativa, la estabilidad microbiológica, la composición fisicoquímica y el color de los vinos.
- Elaborar vinos con tratamientos de mínima intervención (uso de quitosano, sulfitado reducido, combinación de ambos) y comparar el efecto sobre la cinética fermentativa, la estabilidad microbiológica, la composición físico-química y el color respecto a una vinificación tradicional.
- Evaluar las características sensoriales de los vinos obtenidos

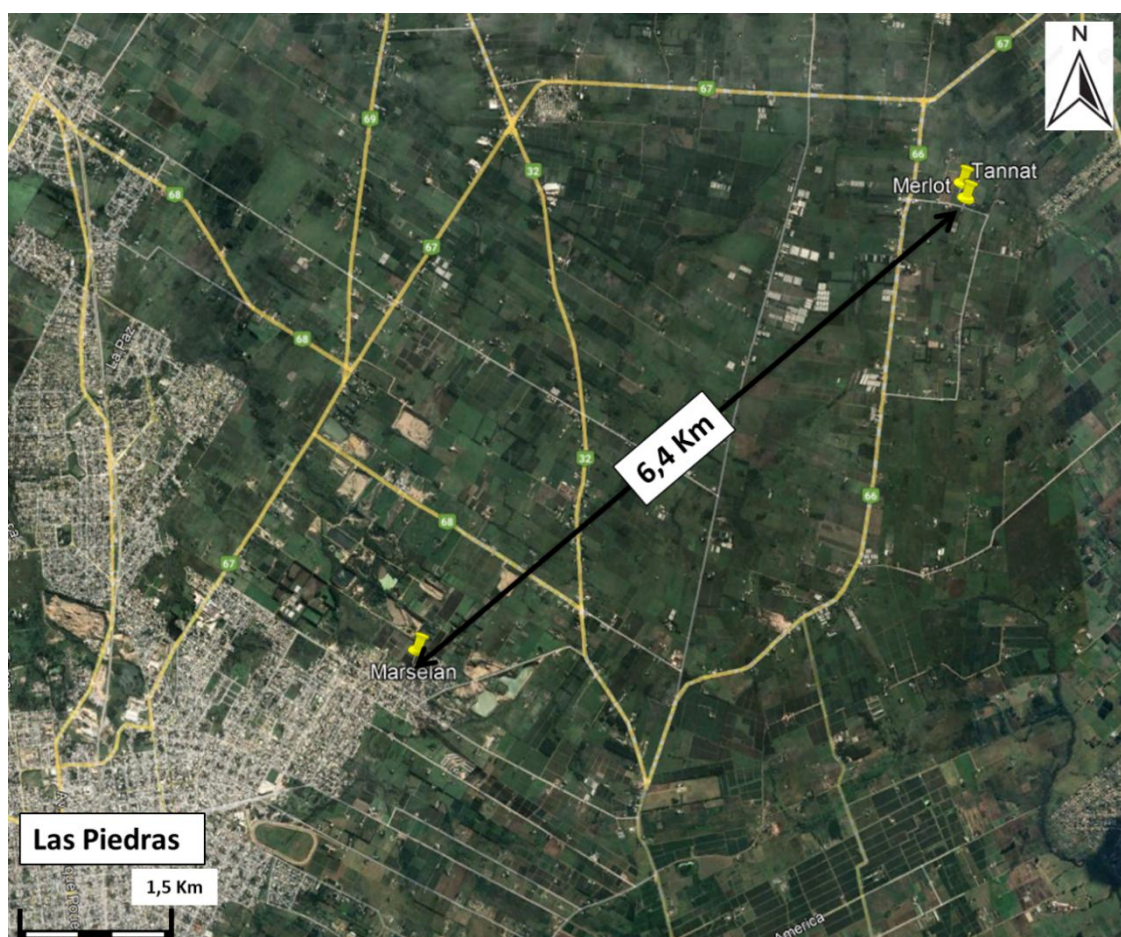
2. MATERIALES Y MÉTODOS

2.1 Características generales

Esta investigación se realizó durante el año 2024 con uvas de cultivares Marselan, Merlot y Tannat provenientes de viñedos comerciales ubicados en el departamento de Canelones. En particular, los viñedos correspondientes a los cultivares Merlot y Tannat, se ubican en la Ruta 66 Km 27,500, Canelón Chico, en tanto que los viñedos del cultivar Marselan se encuentran en Ibiray, Las Piedras a 6,4 Km de distancia de los anteriores (Figura 2).

Figura 2

Ubicación de los viñedos



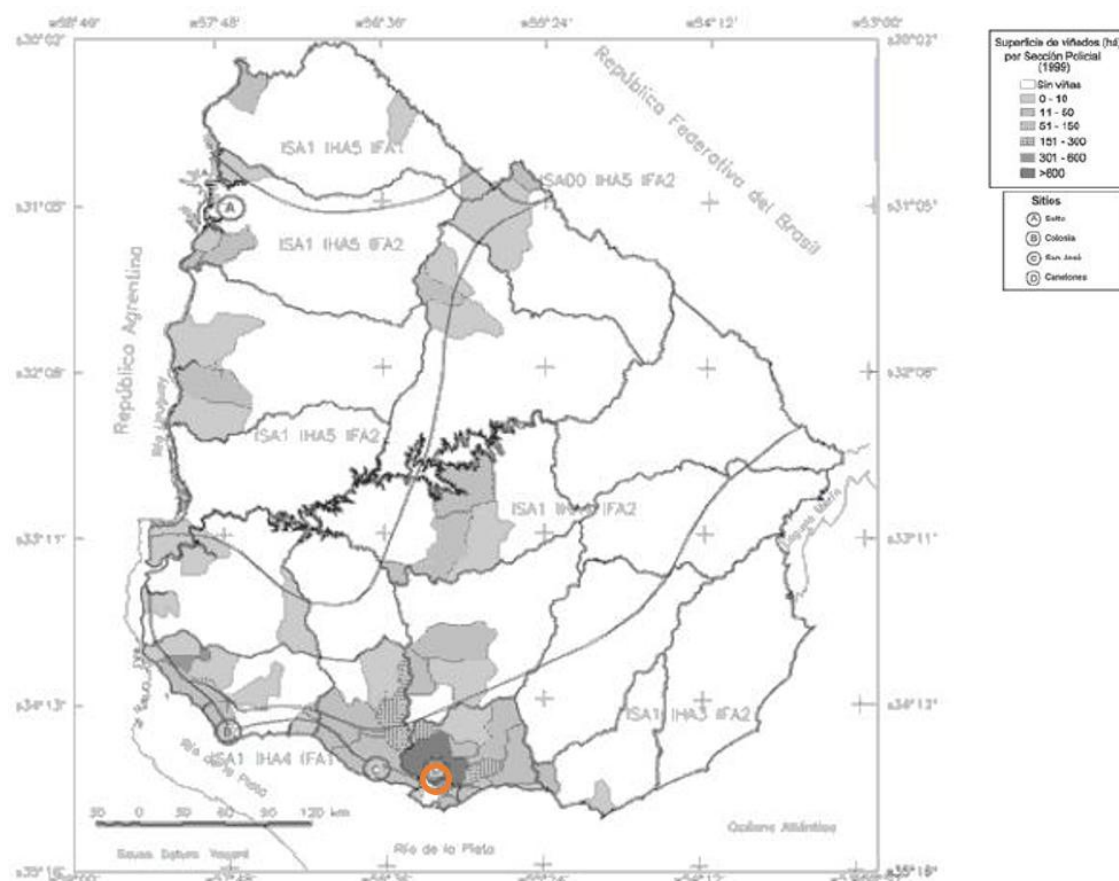
Nota. Adaptado de Google Earth Pro (2025).

Los viñedos cosechados para este ensayo se encuentran en la misma zona climática de acuerdo con el método de clasificación climática multicriterio de índices

bioclimáticos adaptados a las condiciones del cultivo, realizado por Ferrer et al. (2007) (Figura 3).

Figura 3

Delimitación de las regiones vitícolas según tipos climáticos y ubicación de viñedos



Nota. En recuadro naranja se indica la zona de los viñedos cosechados. Tomado de Ferrer et al. (2007).

Los viñedos seleccionados se encontraban en plena producción, presentando un marco de plantación de 2,8 m x 1,0 m (3572 plantas/hectárea), conducidos en espaldera, con poda Guyot bilateral e injertados sobre SO4 para los cultivares Merlot y Marselan y 101.14 para el cultivar Tannat. Estos viñedos fueron manejados bajo los criterios establecidos por el Programa de Viticultura Sostenible.

2.2 Cosecha y composición de la uva

2.2.1 Composición de la uva

La cosecha de las uvas se determinó considerando la evolución de los contenidos de azúcares, acidez total y pH (madurez tecnológica), también se tuvo en cuenta el estado

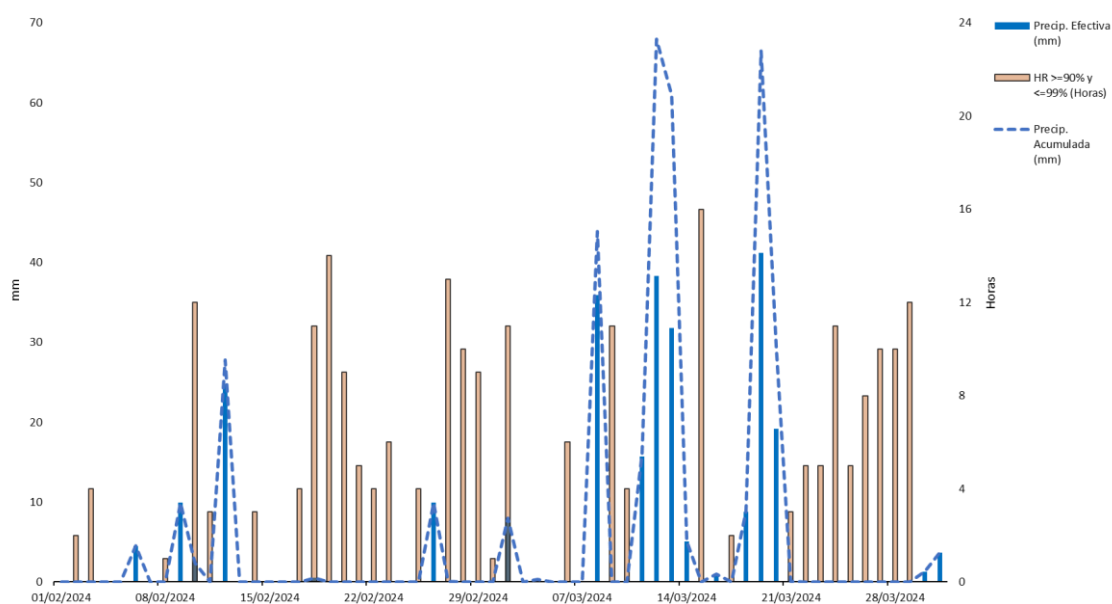
sanitario. La composición de la uva se determinó a través del seguimiento semanal del contenido de azúcares, acidez titulable y pH de las uvas.

Los muestreos se realizaron por duplicado sobre un total de 250 bayas según la metodología propuesta por Carbonneau et al. (1991). Las muestras fueron extraídas en diferentes filas, tomando grupos de 3 a 5 bayas de diferentes racimos, partes del racimo y nivel de exposición de forma aleatoria dentro del viñedo.

Las muestras obtenidas en el viñedo fueron llevadas al laboratorio de Enología de la Facultad de Agronomía (Udelar). En dicho laboratorio fueron desgranadas, cortando el pedúnculo al ras de la baya. Las muestras fueron pesadas utilizando una balanza Precisa BJ 410 C (Suiza), determinando el peso de promedio de baya. Posteriormente, cada muestra fue procesada manualmente para obtener el mosto, sobre el cual se determinaron los grados brix, la acidez total y el pH. Los grados brix fueron analizados empleando un refractómetro de mano Atago MasterTA (Japón), determinando la concentración de azúcares de las bayas y el contenido de alcohol probable. La acidez total se determinó a través de una valoración ácido base, empleando azul de bromotimol como reactivo indicador. El pH se determinó empleado un pH-metro Orion 410A (EE.UU.).

2.2.2 Cosecha de la uva

Los cultivares Marselan y Merlot se cosecharon el día 26/3 y 29/2 respectivamente. Si bien las uvas del cultivar Merlot alcanzaron el estado de madurez tecnológica, la cosecha de ambos cultivares se definió principalmente por las condiciones climáticas que propiciaron el desarrollo de podredumbres de racimo (Figura 4). Esto determinó que en las uvas del cultivar Marselan al momento de cosecha no alcanzaron los criterios de madurez tecnológica definida para la elaboración de un vino tinto VCP. Por su parte, Tannat se cosechó el 24/3 con una composición de 225 g/L de azúcares (12,5 % v/v de alcohol probable) y pH de 3,45.

Figura 4*Precipitación y humedad durante madurez*

Nota. Precip. Efectiva (mm) es la precipitación del día, descontando el escurrimiento superficial. Datos tomados del Banco de Datos Agroclimáticos del Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria (2025).

Para todos los cultivares, la cosecha se realizó durante las primeras horas de la mañana, de forma manual con tijeras cosecheras, en cajones de plástico de 20 kg llenos a 2/3 de su capacidad.

La uva se trasladó a la Bodega Experimental de la Facultad de Agronomía (Montevideo, Uruguay) en donde se realizaron las vinificaciones. La uva se dejó estacionar en los cajones a temperatura ambiente hasta el día siguiente, cuando se procesó y distribuyó en los distintos tratamientos.

Previo al procesamiento de la uva, se extrajeron dos muestras de 250 bayas por cultivar, con una repetición. Sobre las primeras dos muestras se realizaron en fresco los análisis de acidez total, pH y SS empleando la metodología descrita en el punto 2.8. Las dos muestras restantes fueron congeladas a -3 °C por 5 meses, para analizar su riqueza fenólica (A280), potencial total en antocianos (ApH1), potencial en antocianos extraíbles (ApH3,2) y determinar el índice de extractibilidad de los antocianos (EA%). De esta manera, en julio de 2024 se procedió a descongelar y procesar la uva utilizando una licuadora Phillips de 600 W y 3 velocidades (Eindhoven, Netherlands).

2.3 Procesado de la uva y encubado

La uva fue procesada con una descobajadora-moledora (tritadora Alfa 60 R, Italcom, Piazzola Sul Brenta, Italia) recogiendo el mosto con hollejos y semillas en una tina. A partir de ahí, se realizó el encubado de 9 kg de mosto en recipientes plásticos de 10 L de capacidad, donde posteriormente se llevó a cabo la vinificación de los distintos tratamientos. Se encubaron 12 recipientes por cultivar, los cuales fueron separados en grupos de tres para asignarles el tratamiento de forma aleatoria.

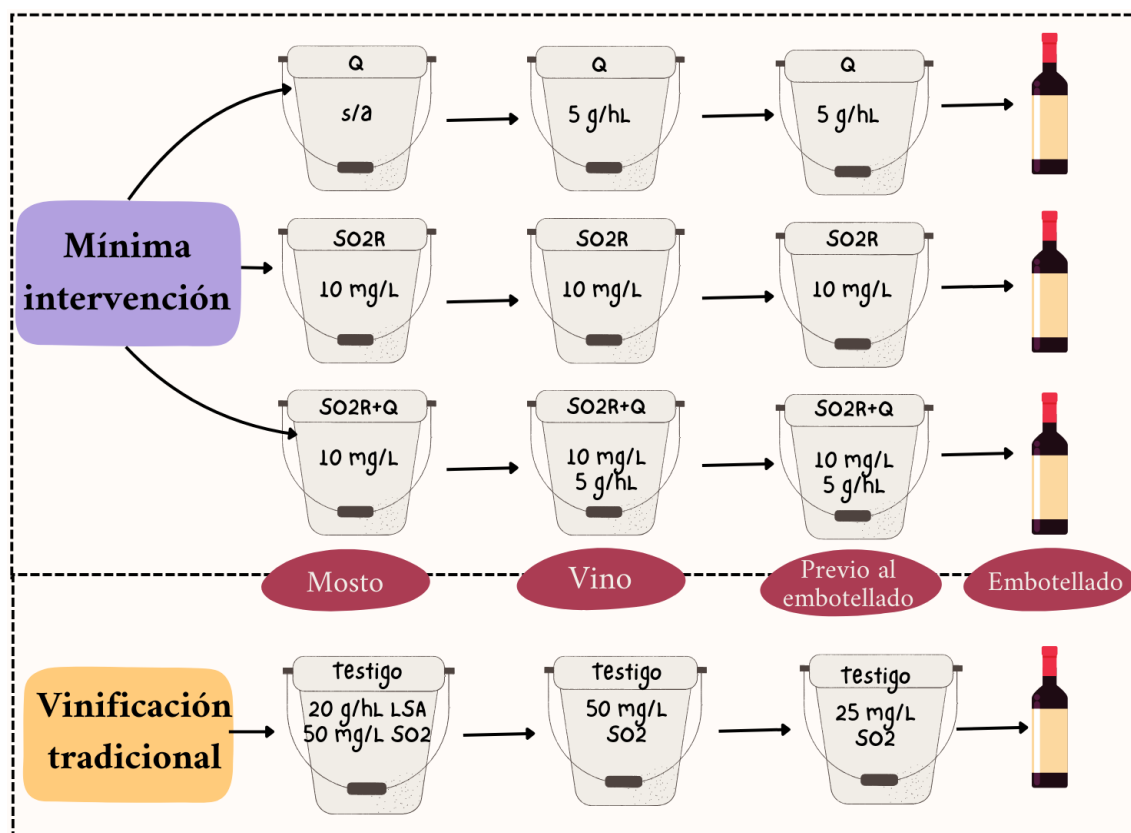
2.4 Diseño experimental y Tratamientos

El diseño experimental fue completamente al azar dentro de cada cultivar, con cuatro tratamientos y tres repeticiones por tratamiento (Figura 5). El total de unidades experimentales por cultivar fue de 12 recipientes de 10 litros de capacidad encubados con 9 kg de mosto, hollejos y semillas.

Para cada cultivar se realizaron los siguientes tratamientos:

- Quitosano (Q) - Se encubó y se dejó el mosto fermentando durante siete días, al final de la fermentación se le agregó 5 g/hl de Quitosano (Danstar Fermenr A.G. – Fredericia, Dinamarca), operación que se repitió previo al embotellado.
- Sulfito reducido (SO₂R) – Agregado de 6 g/hl de metabisulfito de potasio (30 mg/hl de anhídrido sulfuroso) al encubado, descube y previo al envasado, repartido en partes iguales.
- Sulfito reducido y quitosano (SO₂R+Q) - Se adicionó 6 g/hl de metabisulfito de potasio al encubado, al descube y previo al envasado repartidos en partes iguales. Agregado de 10 g/hl de quitosano al descube y previo al envasado del vino, repartido en partes iguales.
- Vinificación tradicional (VT) fue utilizado como testigo - Agregado de dosis habituales de metabisulfito de potasio (25 g/hl, equivalentes a 125 mg/hl de anhídrido sulfuroso), fraccionados en tres momentos: encubado (10 g/hl), descube (10 g/hl) y previo al envasado (5 g/hl). Adicionalmente, al encubado se agregó 20 g/hl de levadura seca activa (LSA) (*Saccharomyces cerevisiae*, Lamothe Abeit – Z.A. Actipolis, Francia).

Durante la fermentación se realizó de forma diaria, el hundimiento del sombrero, formado por los hollejos en suspensión.

Figura 5*Esquema de los tratamientos*

Nota. s/a es sin agregados de quitosano ni anhídrido sulfuroso.

2.5 Prensado

Una vez finalizada la maceración fermentativa, se separó el vino de gota y los orujos fueron levemente prensados con una prensa manual de acero inoxidable. El vino de gota y el de prensa fueron unificados y conservados en recipientes de polietileno de 5 litros de capacidad, donde se dejó estacionado para la decantación de las borras. Posteriormente, el vino se trasvasó a recipientes de polietileno de 3 litros de capacidad para su estabilización natural hasta el envasado. El 6 de junio de 2024 se realizó el envasado de forma manual en botellas de 375 ml a través del trasiego del vino limpio.

2.6 Seguimiento de la fermentación

Diariamente se registró la temperatura del mosto con un termómetro de laboratorio (2905, Alla France, Chemille, Francia), y la densidad de cada recipiente con un mostímetro Dujardin-Salleron (2001FC-20/20, Alla France, Chemille, Francia).

2.7 Análisis microbiológicos

Se realizaron análisis microbiológicos a partir de diluciones decimales seriadas de las muestras, en agua peptonada mediante siembra en superficie. Los mismos se realizaron a los 3 días del encubado, quince días posteriores al descube y a los quince días del embotellado, extrayendo una muestra compuesta de 50 ml de dos repeticiones por tratamiento. Los medios de cultivo y las condiciones de incubación para cada grupo microbiano fueron: Plate Count Agar (PCA, Oxoid) para recuento de mesófilos aerobios totales (35°C, 24-48 h.), de Man Rogosa Agar (MRS, Oxoid) para bacterias ácido lácticas (37°C, 48 h., microaerofilia), glucosa-extracto levadura- carbonato de calcio agar (GYC, Condalab) para bacterias acéticas (30°C, 72 h.) (Bucková et al., 2018), y extracto de levadura-petpona-glucosa agar (YPD, Neogen) para levaduras (28°C, 3-5 días) (Grangeteau et al., 2017). Los recuentos se realizaron por triplicado y fueron informados como log u.f.c/ml de muestra.

2.8 Análisis del color y la composición físico-químico de los vinos

Se realizaron análisis de cada repetición por duplicado 15 días posteriores al embotellado.

Se determinó la composición básica (etanol % V/V, pH, acidez total g/L, ácido Málico g/L, ácido Láctico g/L, acidez volátil g/L, fructosa g/L, glucosa g/L y la relación glucosa/fructosa) de los vinos utilizando un espectrofotómetro NIR (Hillerød, Dinamarca).

En cuanto a la composición fenólica de los vinos; los polifenoles totales, antocianos totales y taninos se determinaron por métodos espectrofotométricos según Singleton y Rossi (1965), Ribéreau-Gayon y Stonestreet (1965) y Sarneckis et al. (2006) respectivamente. Para la cuantificación de polifenoles totales y antocianos se empleó un espectrofotómetro Genesys (Madison, USA) y para taninos un espectrofotómetro UV-VIS (Ortenberg, Alemania) respectivamente. Estas determinaciones analíticas han sido seleccionadas por la información que brindan y la capacidad de transferencia al sector.

El color se evaluó por el método de Glories (1984a, 1984b) determinando la intensidad colorante (IC) y tonalidad (TON). Además, se determinó el color CIELab de acuerdo con lo propuesto por Ayala et al. (1997) y empleado el software MSCVes se determinó la Luminosidad (L^*), el componente rojo-verdoso (a^*) y el componente amarillo-azulado (b^*) del color.

2.9 Análisis sensorial de los vinos

A los seis meses del envasado se realizó un análisis sensorial descriptivo cualitativo de acuerdo con la metodología propuesta por Piccardo et al. (2019). El jurado compuesto por un panel de 12 expertos, evaluó los vinos de forma independiente, aleatoria y anónima en condiciones de laboratorio. Para cada vino, los evaluadores determinaron las siguientes características: intensidad de color, tonalidad, intensidad aromática, calidad del aroma, alcohol, acidez, astringencia, amargor y preferencia, en una escala continua de 0 a 10 cm. Adicionalmente las planillas de evaluación contaban con un espacio para realizar las observaciones que considerasen pertinentes.

2.10 Procesamiento de los datos y Análisis estadístico

Las diferencias estadísticas entre los tratamientos fueron determinadas utilizando el programa InfoStat versión 2020 (Argentina) mediante análisis de varianza (ANAVA) y prueba de comparación de medias por Test de Tukey ($\alpha < 0,05$) a los resultados obtenidos de los análisis físico-químicos y microbiológicos de los vinos.

Además, se realizó un análisis exploratorio de componentes principales a fin de comprender principales variables asociadas a la variedad y a las vinificaciones evaluadas.

3. RESULTADOS

3.1 Composición de la uva en cosecha

Una vez cosechada la uva, se realizaron diversos análisis de composición básica en el laboratorio. Los resultados se indican en la Tabla 3.

3.1.1 Composición general

Tabla 3

Composición general de la uva en cosecha

Cultivar	SS (°Brix)	Azúcares (g/L)	Alcohol probable (% v/v)	pH
Marselan	18,7 ± 0,4 b	179 ± 5 b	9,9 ± 0,3 b	3,57 ± 0,04 a
Merlot	22,1 ± 0,1 a	216 ± 1 a	12,0 ± 0,0 a	3,46 ± 0,06 a
Tannat	22,7 ± 0,4 a	223 ± 4 a	12,4 ± 0,2 a	3,45 ± 0,01 a

Nota. Medias con distinta letra indican diferencias significativas para el Test de Tukey ($\alpha < 0,05$).

La Tabla 3 muestra la composición general de las uvas de los diferentes cultivares en el momento de cosecha. Las uvas del cultivar Marselan se cosecharon el día 26/3 con un pH de 3,57 y una concentración de azúcares de 179 g/L (9,9 %v/v de alcohol probable), mientras que las uvas del cultivar Merlot se cosecharon el 29/2 con 216 g/L de azúcares (12,0 % v/v de alcohol probable) y pH de 3,46. Como se mencionó anteriormente en los cultivares Marselan y Merlot se definió la cosecha en función de las condiciones climáticas y de la aparición de focos de podredumbres de racimo en el viñedo. En consecuencia, las uvas del cultivar Marselan no alcanzaron los criterios de madurez tecnológica definida para la elaboración de un vino tinto VCP. Las uvas Tannat se cosecharon el 24/3 con una composición de 223 g/L de azúcares (12,4 % v/v de alcohol probable) y pH de 3,45.

La composición de las uvas Merlot y Tannat en el momento de la cosecha se encuentra dentro de los parámetros de calidad reportados para estos cultivares en trabajos anteriores (González-Neves et al., 2012). En contraste, las uvas Marselan presentaron menores concentraciones de azúcares totales y valores de pH más elevados que los reportados por González-Neves et al. (2015).

3.1.2 Composición fenólica

La composición fenólica de la uva al momento de cosecha se observa en la Tabla 4. Merlot presentó valores de polifenoles y antocianos totales que son representativos del cultivar, de acuerdo con reportes previos presentados por González-Neves et al. (2004), donde se observan contenidos bajos de antocianos extraíbles y elevada extractibilidad de los mismos (bajo índice EA%).

Tabla 4

Composición fenólica de la uva en cosecha

Cultivar	A280	ApH1 (mg/L)	ApH3,2 (mg/L)	EA (%)
Marselan	14,0 ± 0,8 b	337 ± 25 c	180 ± 35 b	48,3 ± 10,8 a
Merlot	44,8 ± 5,5 a	916 ± 81 b	427 ± 70 a	53,6 ± 4,3 a
Tannat	50,0 ± 1,2 a	1591 ± 137 a	528 ± 110 a	66,5 ± 7,9 a

Nota. Medias con distinta letra indican diferencias significativas para Test de Tukey ($\alpha < 0,05$). A280 es índice de polifenoles totales; ApH1 es potencial en antocianos totales; ApH3,2 potencial en antocianos extraíbles; EA índice de extractibilidad de antocianos.

La uva del cultivar Tannat presentó las concentraciones más altas de polifenoles totales (A280), aunque sin diferencias significativas respecto a Merlot (Tabla 4). Sin embargo, los valores de riqueza fenólica obtenidos para Tannat en este ensayo, fueron inferiores a los reportados por González-Neves et al. (2012, 2004). Asimismo, se observó un bajo potencial en antocianos extraíbles y una alta proporción de potencial en antocianos totales, lo que determinó una elevada extractibilidad (EA%) en comparación con referencias previas. Estos resultados podrían indicar dificultades en la extracción de antocianos durante la maceración en la vinificación de este cultivar (González-Neves et al., 2015).

En el caso de Marselan, se registró un bajo contenido de antocianos totales y extraíbles (Tabla 4), en concordancia con lo reportado por Nadal et al. (2014). No obstante, el índice de polifenoles totales se encuentra dentro del rango característico para el cultivar, según Bas Nahas (2019).

3.2 Cinética de la fermentación

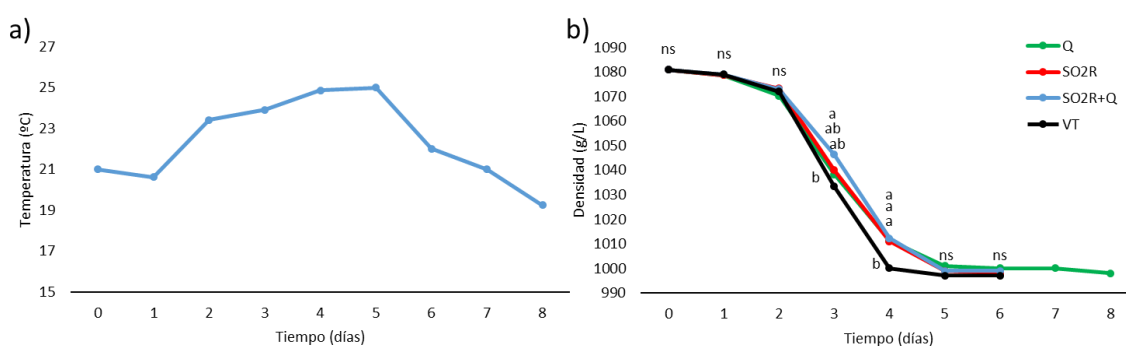
La cinética de fermentación se determinó mediante el registro diario de la temperatura y la densidad de los mostos. Dado que no se observaron diferencias significativas en la temperatura de los mostos entre los tratamientos evaluados dentro de cada cultivar, se decidió presentar los valores promedio por tratamiento.

3.2.1 Marselan

En la Figura 6 se presenta la evolución diaria de la temperatura (Figura 6a) y densidad (Figura 6b) de los mostos Marselan, según los tratamientos evaluados. De acuerdo con los resultados observados en la Figura 6a, la fermentación alcohólica tuvo lugar en el rango de temperaturas comprendida entre los 19 y 25 °C, las cuales se corresponden con las definidas en el protocolo de vinificación. Por su parte, la cinética de fermentación dada por la evolución de la densidad no difirió significativamente entre los distintos tratamientos en los primeros días. Sin embargo, a partir del tercer día, la densidad de los mostos testigo (VT) disminuyó más rápidamente en comparación con los tratamientos de mínima intervención (SO₂R, SO₂R+Q, Q). Los mostos SO₂R, SO₂R+Q y VT finalizaron la fermentación alcohólica a los 6 días del encubado. Mientras que, los vinos correspondientes al tratamiento Q, culminaron la fermentación alcohólica a los 8 días desde el encubado. Cabe destacar que, en todos los tratamientos, la fermentación alcohólica se desarrolló sin paradas de fermentación.

Figura 6

Temperatura y densidad promedio durante la fermentación alcohólica de los mostos Marselan



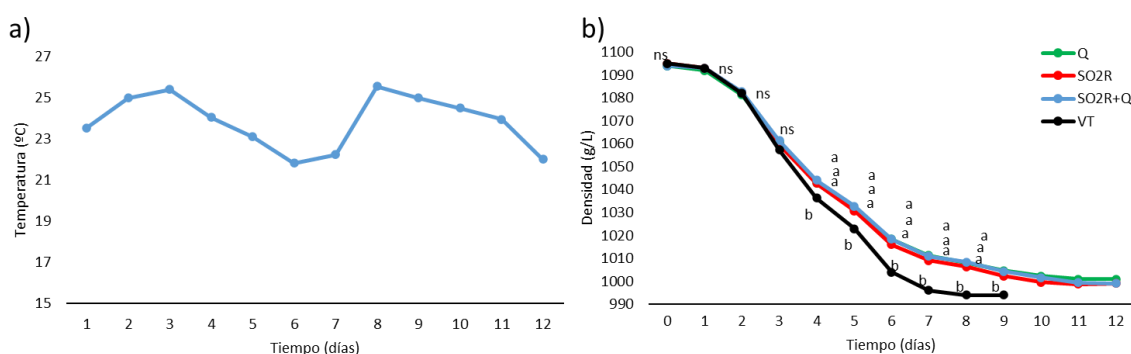
Nota. Medias con distinta letra indican diferencias significativas para el Test de Tukey ($\alpha < 0,05$). Q es Quitosano; SO₂R es sulfito reducido; SO₂R+Q es sulfito y quitosano; VT es vinificación tradicional.

3.2.2 Merlot

En los mostos de Merlot, la temperatura no se diferenci6 entre los tratamientos durante la fermentacion alcoh6lica y se mantuvo dentro de los rangos establecidos (Figura 7a), al igual que lo registrado para el cultivar Marselan.

Figura 7

Temperatura y densidad promedio durante la fermentaci6n alcoh6lica de los mostos Merlot



Nota. Medias con distinta letra indican diferencias significativas para el Test de Tukey ($\alpha < 0,05$). Q es Quitosano; SO₂R es sulfito reducido; SO₂R+Q es sulfito y quitosano; VT es vinificaci6n tradicional.

Respecto a la evoluci6n de la densidad (Figura 7b), no se registraron diferencias significativas entre los tratamientos durante los primeros tres días de la fermentaci6n alcoh6lica. A partir del cuarto día, la cinética de fermentaci6n de los mostos se diferenci6 entre tratamientos, en este sentido, los mostos testigo mostraron una disminuci6n m6s r6pida de la densidad en comparaci6n con los mostos de mínima intervenci6n. Estos últimos, finalizaron la fermentaci6n alcoh6lica al día doce desde el encubado, sin diferencias significativas entre sí, en tanto que los VT finalizaron la fermentaci6n alcoh6lica tres días antes.

3.2.3 Tannat

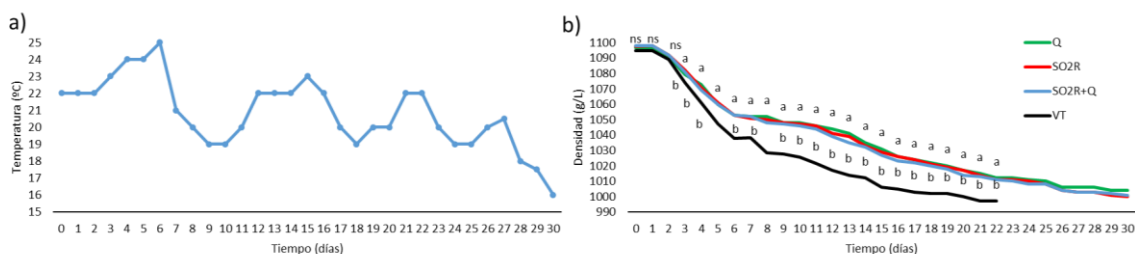
En los mostos Tannat, la temperatura promedio se mantuvo en los valores preestablecidos durante los primeros 6 días (Figura 8a). Entre los días seis y siete, se registr6 una disminuci6n de la temperatura de los mostos, pasando de 25 a 21 °C. Esta disminuci6n continu6 hasta el día 10, alcanzando los 19 °C, provocando paradas y enlentecimiento de la fermentaci6n en todos los tratamientos (Figura 8b). Posteriormente,

la temperatura del mosto mantuvo una tendencia a la disminución, hasta el día 30 desde el encubado.

Al igual que lo que ocurrió en los cultivares Marselan y Merlot, la cinética de fermentación alcohólica durante los primeros días, no registró diferencias significativas entre tratamientos (Figura 8b). A partir del tercer día, las levaduras seleccionadas del tratamiento testigo lograron una mayor cinética de fermentación respecto a los tratamientos de mínima intervención. Sin embargo, tanto en los mostos testigos como en los de mínima intervención, se observó un enlentecimiento de la fermentación alcohólica a partir del día 6. En estas condiciones, los mostos del tratamiento VT finalizaron la fermentación alcohólica a los 22 días. En cambio, los mostos correspondientes a los tratamientos de mínima intervención alcanzaron, según el tratamiento, densidades comprendidas entre 1005 y 1000 a los 30 días desde el encubado, sin lograr completar la fermentación alcohólica.

Figura 8

Temperatura y densidad promedio durante la fermentación alcohólica de los mostos Tannat



Nota. Medias con distinta letra indican diferencias significativas para el Test de Tukey ($\alpha < 0,05$). Q es Quitosano; SO₂R es sulfito reducido; SO₂R+Q es sulfito y quitosano; VT es vinificación tradicional.

3.3 Análisis microbiológicos de los vinos

3.3.1 Marselan

En la Figura 9 se presenta la evolución de las poblaciones de levaduras (a) y bacterias ácido-lácticas (BAL) (b) en vinos Marselan, evaluadas a los 3 días del encubado, 15 días posteriores al descube y 15 días después del envasado.

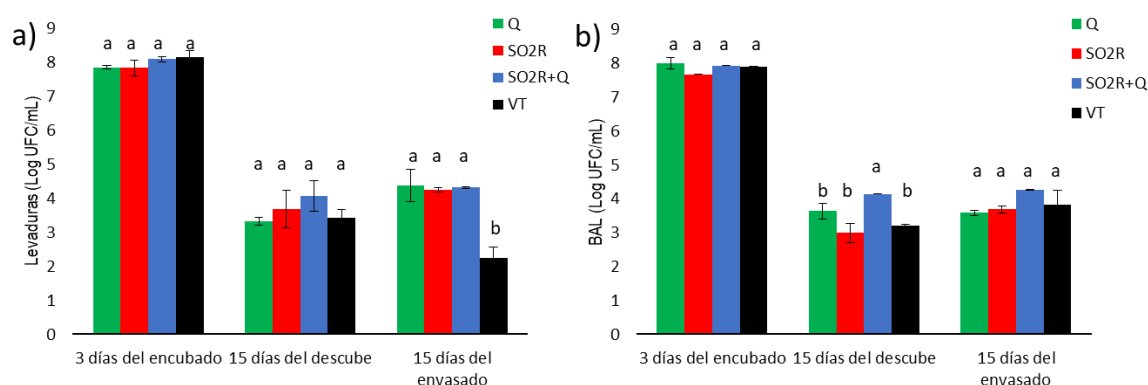
A los 3 días del encubado, todos los tratamientos mostraron conteos de levaduras similares, sin diferencias significativas entre ellos (Figura 9a). Quince días después del

descube, coincidiendo con la primera dosificación para el tratamiento Q y la segunda para los tratamientos SO₂R, SO₂R+Q y VT, se observó una disminución de la población de levaduras en todos los tratamientos evaluados, sin diferencias estadísticamente significativas. En cambio, después de la última dosificación (15 días después del envasado), la población de levaduras disminuyó únicamente en el tratamiento testigo (VT).

En cuanto a las bacterias ácido-lácticas, no se observaron diferencias significativas entre tratamientos a los 3 días del encubado (Figura 9b). A los 15 días posteriores al descube, se registró una disminución de la población de BAL, siendo los tratamientos Q, SO₂R y VT los que presentaron los valores más bajos, sin diferencias entre ellos. Finalmente, luego de la última dosificación, la población de BAL se mantuvo estable en todos los tratamientos, sin registrarse diferencias significativas entre ellos.

Figura 9

Recuento de levaduras y bacterias ácido lácticas durante la vinificación de los vinos Marselan



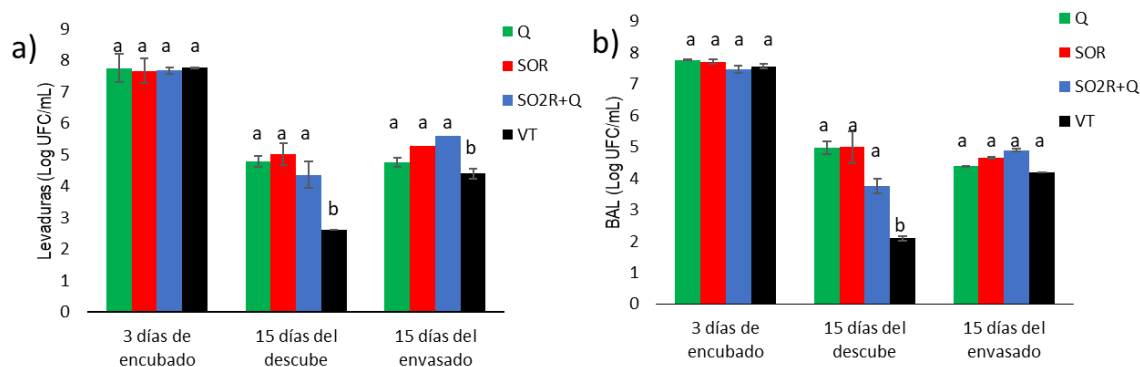
Nota. Medias con distinta letra indican diferencias significativas para el Test de Tukey ($\alpha < 0,05$). Q es Quitosano; SO₂R es sulfito reducido; SO₂R+Q es sulfito y quitosano; VT es vinificación tradicional.

3.3.2 Merlot

En la Figura 10 se presenta la evolución de las poblaciones de levaduras (a) y bacterias ácido-lácticas (BAL) (b) en vinos Merlot.

Figura 10

Recuento de levaduras y bacterias ácido lácticas durante la vinificación de los vinos Merlot



Nota. Medias con distinta letra indican diferencias significativas para el Test de Tukey ($\alpha < 0,05$). Q es Quitosano; SO₂R es sulfito reducido; SO₂R+Q es sulfito y quitosano; VT es vinificación tradicional.

A los 3 días del encubado la población de levaduras (Figura 10a) no mostró diferencias significativas entre tratamientos. A los quince días posteriores al descube (primera dosificación para el tratamiento Q y la segunda para los tratamientos SO₂R, SO₂R+Q y VT, todos los tratamientos lograron disminuir la población de levaduras, siendo el tratamiento VT el que logró un mayor control de levaduras, diferenciándose estadísticamente de los tratamientos de mínima intervención. Luego de la última dosificación (15 días del envasado) la población de levaduras de los tratamientos de mínima intervención se mantuvo sin diferencias, mientras que, en el tratamiento VT se dio un aumento en la población de levaduras, aunque logró mantenerse estadísticamente en niveles inferiores que los demás tratamientos.

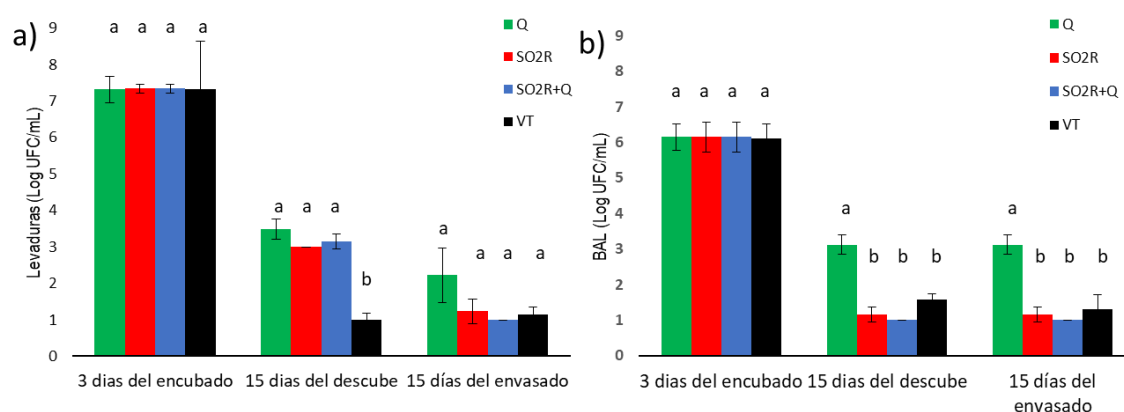
En cuanto a las bacterias ácido-lácticas (Figura 10b), no se observaron diferencias significativas entre tratamientos a los 3 días del encubado. A los 15 días posteriores al descube, se registró una disminución en la población de BAL, siendo el tratamiento VT el que presentó los valores significativamente más bajos. Finalmente, luego de la última dosificación, la población de BAL se mantuvo estable en todos los tratamientos, sin registrarse diferencias significativas entre ellos.

3.3.3 Tannat

En la Figura 11 se presenta la evolución de las poblaciones de levaduras (a) y bacterias ácido-lácticas (BAL) (b) en vinos Tannat, evaluadas a los 3 días del encubado, 15 días posteriores al descube y 15 días después del envasado.

Figura 11

Recuento de levaduras y bacterias ácido lácticas durante la vinificación de los vinos Tannat



Nota. Medias con distinta letra indican diferencias significativas para el Test de Tukey ($\alpha < 0,05$). Q es Quitosano; SO₂R es sulfito reducido; SO₂R+Q es sulfito y quitosano; VT es vinificación tradicional.

Los conteos de levaduras (Figura 11a) fueron similares entre tratamientos a los 3 días del encubado, sin diferencias significativas. A los quince días después del descube, (primera dosificación para el tratamiento Q y la segunda para los tratamientos SO₂R, SO₂R+Q y VT), la población de levaduras disminuyó en todos los tratamientos evaluados, siendo el tratamiento testigo el que logró diferenciarse estadísticamente de los demás tratamientos. Sin embargo, luego de la última dosificación (15 días después del envasado), la población de levaduras alcanzó iguales poblaciones en todos los tratamientos, sin diferencias significativas.

No se observaron diferencias significativas en la población de BAL (Figura 11b) entre tratamientos a los 3 días del encubado. 15 días posteriores al descube, se registró una disminución de la población de BAL en todos los tratamientos, siendo SO₂R, SO₂R+Q y VT los que presentaron los valores más bajos, sin diferencias significativas entre sí. Finalmente, luego de la última dosificación, la población de BAL se mantuvo

estable en todos los tratamientos, manteniendo las diferencias entre Q y el resto de los tratamientos.

En cuanto al recuento de bacterias acéticas (datos no mostrados), éstas se observaron únicamente a los 3 días del encubado independientemente del tratamiento y del cultivar.

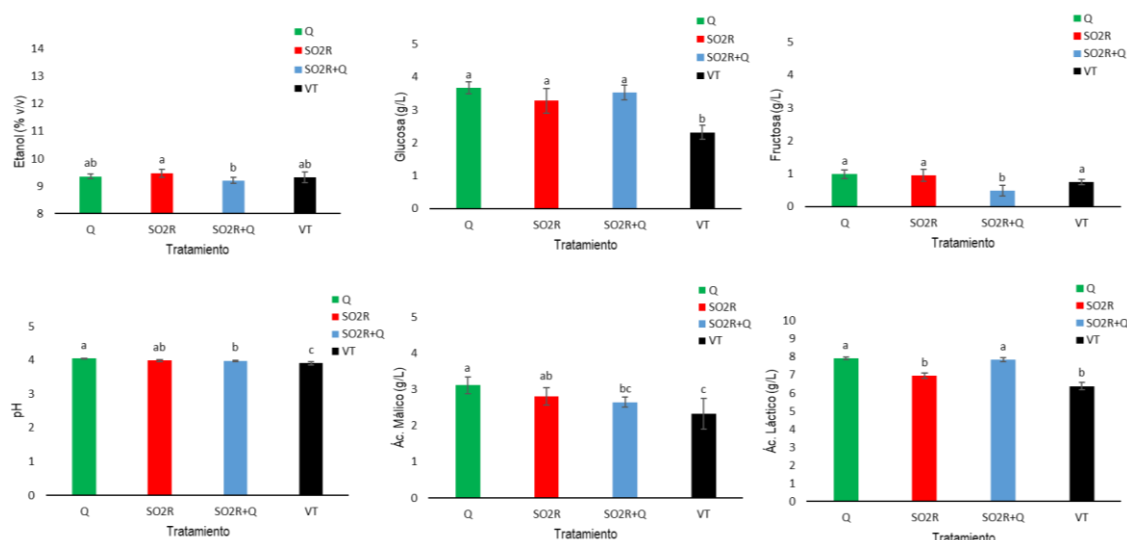
El recuento de mesófilos aerobios totales (datos no mostrados) luego de envasado, se mantuvo en el orden de 3-4 log u.f.c/ml en Marselan y Merlot. En Marselan, el tratamiento VT mostró significativamente menores poblaciones que el resto de los tratamientos para ese cultivar. En Tannat el recuento de mesófilos totales se encontraba por debajo del límite de detección.

3.4 Composición básica de los vinos a los 3 meses de envasado

3.4.1 Marselan

En la Figura 12 se presenta la composición general de los vinos Marselan a los tres meses del envasado.

El contenido de alcohol en los vinos de mínima intervención mostró diferencias significativas entre tratamientos, siendo los vinos del tratamiento SO₂R los que presentaron el valor más alto y SO₂R+Q el más bajo. Los vinos Q mostraron un contenido intermedio entre ambos tratamientos. Sin embargo, se debe considerar que las diferencias observadas en el contenido de alcohol entre SO₂R y SO₂R+Q es de 0,27% v/v, si bien estas diferencias son significativas estadísticamente, no resulta relevante desde el punto de vista enológico ya que todos los vinos se encuentran dentro de la categoría común (de mesa). En consecuencia, los vinos de todos los tratamientos de mínima intervención no difirieron significativamente respecto a los vinos testigo.

Figura 12*Composición básica de los vinos Marselan*

Nota. Medias con distinta letra indican diferencias significativas para el Test de Tukey ($\alpha < 0.05$). Q es Quitosano; SO₂R es sulfito reducido; SO₂R+Q es sulfito y quitosano; VT es vinificación tradicional.

Los vinos de mínima intervención mostraron estadísticamente mayor contenido de glucosa con respecto al testigo. En cuanto a los contenidos de fructosa, SO₂R+Q registró los valores más bajos, diferenciándose estadísticamente del resto de los tratamientos (Figura 12). Estas diferencias (principalmente las observadas en los contenidos de glucosa), podrían indicar que la fermentación alcohólica no ocurrió de forma completa, ya que el contenido de azúcares en los vinos fue superior a 2 g/L, particularmente en los vinos de mínima intervención. Si bien no hubo diferencias significativas entre ellos, SO₂R mostró un contenido de glucosa levemente menor y un valor de alcohol superior, lo que sugiere que las pequeñas diferencias de alcohol podrían estar relacionadas con los niveles de azúcar residual en el vino.

Todos los tratamientos presentaron valores elevados de pH, lo que se relaciona con el alto pH de la uva en el momento de cosecha. Los valores de pH difirieron significativamente entre tratamientos. Los vinos del tratamiento testigo presentaron los menores valores con respecto a los vinos de mínima intervención. Dentro de estos últimos, SO₂R+Q mostró los valores más bajos, mientras que los vinos del tratamiento Q tuvieron el pH más elevado. SO₂R mostró valores de pH intermedios y no se diferenció significativamente dentro de los tratamientos de mínima intervención (Figura 12).

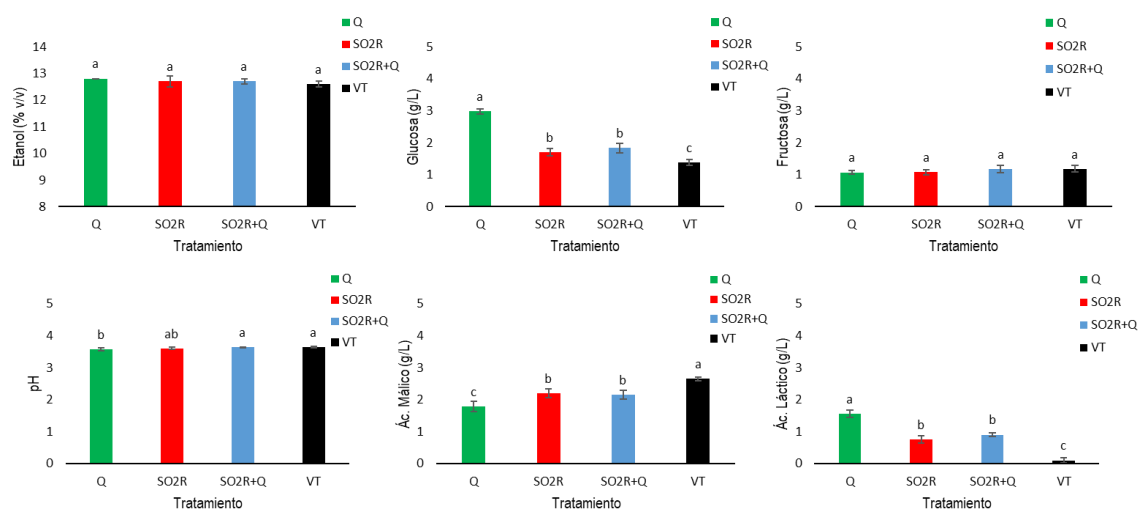
Los menores contenidos de ácido málico se detectaron en los vinos VT (Figura 12), aunque no se diferencian significativamente de los vinos SO₂R+Q. Por el contrario, los mayores contenidos de ácido málico se detectaron en el tratamiento Q, sin diferenciarse estadísticamente de los vinos del tratamiento SO₂R.

En cuanto al ácido láctico, los tratamientos VT y SO₂R mostraron los valores más bajos sin diferencias entre sí (Figura 12). En cambio, Q y SO₂R+Q presentaron las concentraciones más elevadas, sin diferencias significativas. Estos resultados obtenidos en los contenidos de ácido málico y láctico indican que todos los tratamientos realizaron una fermentación maloláctica parcial. No se encontró una asociación entre estos contenidos y el pH de los vinos.

Si bien hubiera sido de utilidad determinar la acidez total y volátil de los vinos, no se pudo realizar mediante el empleo del espectrofotómetro NIR debido a que los valores estaban fuera del rango de detección del equipo (acidez total a pH 7: 2 a 5 g/L y acidez volátil 0 a 1 g/L). En este contexto se debe considerar que vinos con contenido de acidez volátil superiores a 1 g/L indican alteraciones microbiológicas, y en esas condiciones está fuera de la reglamentación para su comercialización (Decreto N° 103/994, 1994).

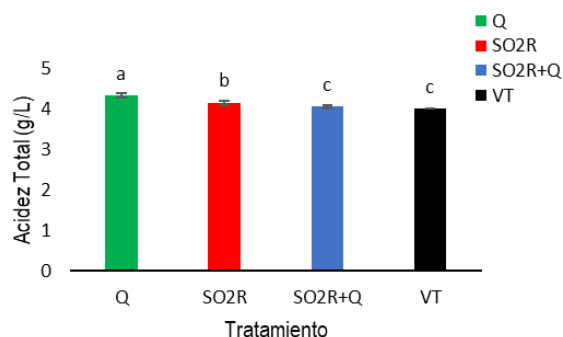
3.4.2 Merlot

Los vinos Merlot elaborados bajo tratamientos de mínima intervención no difirieron significativamente en el contenido de alcohol ni en el contenido de fructosa, respecto a los vinos testigo (Figura 13). Sin embargo, los vinos del tratamiento Q presentaron un contenido significativamente mayor de glucosa, mientras que los vinos testigo registraron los valores más bajos. Los vinos de los tratamientos SO₂R y SO₂R+Q mostraron contenidos intermedios sin diferencias entre ellos. Considerando estos resultados, se podría pensar que en los vinos Q no se logró una fermentación completa de los azúcares, dado principalmente porque presentaron contenidos de glucosa en el entorno de 3 g/L.

Figura 13*Composición básica de los vinos Merlot*

Nota. Medias con distinta letra indican diferencias significativas para el Test de Tukey ($\alpha < 0,05$). Q es Quitosano; SO₂R es sulfito reducido; SO₂R+Q es sulfito y quitosano; VT es vinificación tradicional.

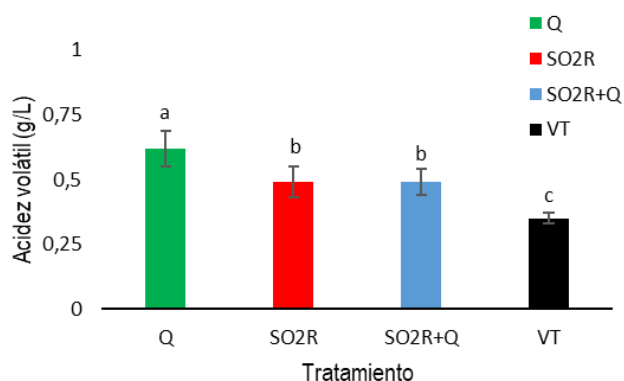
El pH fue mayor en los tratamientos SO₂R, SO₂R+Q y VT sin diferencias significativas entre ellos. Los vinos del tratamiento Q mostraron los valores de pH más bajos, aunque no se diferenciaron de los vinos SO₂R. Esta disminución del pH (Figura 13) se corresponde con los valores de acidez total (Figura 14), dado que el tratamiento Q presentó la acidez más elevada (4,33 g/L de H₂SO₄) seguido por el tratamiento SO₂R (4,15 g/L de H₂SO₄). En contraste, los tratamientos SO₂R+Q y VT registraron los valores más bajos con 4,05 y 4,00 g/L respectivamente.

Figura 14*Acidez total de los vinos Merlot*

Nota. Medias con distinta letra indican diferencias significativas para el Test de Tukey ($\alpha < 0,05$). Q es Quitosano; SO₂R es sulfito reducido; SO₂R+Q es sulfito y quitosano; VT es vinificación tradicional.

En cuanto a los contenidos de ácido málico y láctico (Figura 13), los vinos del tratamiento Q presentaron los menores contenidos de ácido málico y los mayores de ácido láctico. Los tratamientos SO₂R y SO₂R+Q mostraron valores intermedios de ambos ácidos. Estos resultados indican que los vinos de mínima intervención realizaron una fermentación maloláctica parcial, siendo más avanzada en los vinos del tratamiento Q. Por su parte, los vinos testigo presentaron los mayores contenidos de ácido málico y los menores contenidos de ácido láctico (Figura 13).

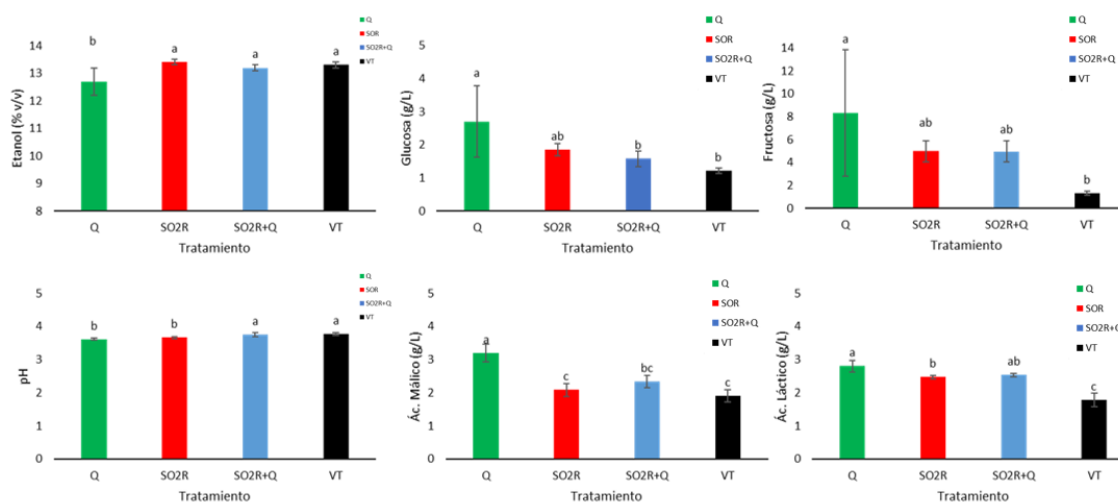
Finalmente, los vinos del tratamiento Q presentaron valores significativamente más elevados de acidez volátil en comparación con los demás tratamientos, seguidos por los tratamientos SO₂R y SO₂R+Q. Este aumento en la acidez volátil podría atribuirse a la producción de ácido acético como producto secundario de la fermentación maloláctica (Lonvaud, 2002). Por su parte, los vinos del tratamiento VT registraron los valores más bajos de acidez volátil (Figura 15).

Figura 15*Acidez volátil de los vinos Merlot*

Nota. Medias con distinta letra indican diferencias significativas para el Test de Tukey ($\alpha < 0,05$). Q es Quitosano; SO₂R es sulfito reducido; SO₂R+Q es sulfito y quitosano; VT es vinificación tradicional.

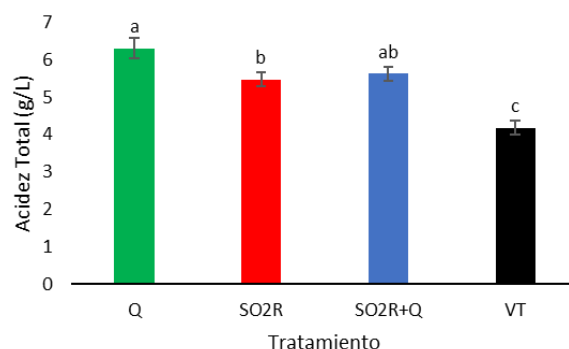
3.4.3 Tannat

En los vinos Tannat, solo los correspondientes al tratamiento Q, presentaron menores contenidos de alcohol y mayores concentraciones de glucosa y fructosa en comparación a los demás tratamientos. Como se mencionó anteriormente, estos resultados pueden indicar que estos vinos no realizaron una fermentación alcohólica completa. Por otra parte, los tratamientos SO₂R y SO₂R+Q no mostraron diferencias significativas en los contenidos de alcohol (% v/v), glucosa (g/L) y fructosa (g/L) respecto al vino testigo (Figura 16).

Figura 16*Composición básica de los vinos Tannat*

Nota. Medias con distinta letra indican diferencias significativas para el Test de Tukey ($\alpha < 0,05$). Q es Quitosano; SO₂R es sulfito reducido; SO₂R+Q es sulfito y quitosano; VT es vinificación tradicional.

Respecto al pH, los vinos de los tratamientos Q y SO₂R presentaron valores significativamente menores que los de SO₂R+Q y VT (Figura 16). En el caso de Q, este valor de pH está asociado con una mayor acidez total (Figura 17), sin embargo, esta relación no se observó en los vinos del tratamiento SO₂R, los cuales mostraron menor acidez.

Figura 17*Acidez total de los vinos Tannat*

Nota. Medias con distinta letra indican diferencias significativas para el Test de Tukey ($\alpha < 0,05$). Q es Quitosano; SO₂R es sulfito reducido; SO₂R+Q es sulfito y quitosano; VT es vinificación tradicional.

Los mayores contenidos de ácido málico y ácido láctico se registraron en el tratamiento Q (Figura 16), seguido del tratamiento SO₂R+Q y SO₂R. Los vinos testigo fueron los que presentaron los valores más bajos de ambos ácidos. Si bien no se observó una relación directa entre los contenidos de ácido málico y ácido láctico en los vinos Tannat, en todos los tratamientos se evidenció una fermentación maloláctica parcial, la cual fue más avanzada en los tratamientos de mínima intervención en comparación con el testigo.

Respecto a la acidez volátil, solamente se pudo registrar en los vinos testigo (0,86 g/L de H₂SO₄), ya que en los tratamientos de mínima intervención los valores se encontraban fuera del rango de detección del equipo.

3.5 Color y composición fenólica de los vinos a los 3 meses de envasado

3.5.1 Marselan

Los vinos correspondientes al tratamiento Q (Tabla 5) presentaron mayor intensidad colorante ($5,37 \pm 0,28$) y menor luminosidad ($84,5 \pm 0,6$), diferenciándose significativamente del tratamiento SO₂R únicamente en la intensidad colorante ($4,97 \pm 0,21$). Por su parte, los vinos VT fueron los menos intensos ($3,75 \pm 0,21$) y más luminosos ($88,8 \pm 0,5$), en tanto que los SO₂R+Q presentaron valores intermedios ($4,72 \pm 0,19$ y $85,2 \pm 0,5$ respectivamente).

Tabla 5*Composición fenólica y color según tratamiento de los vinos Marselan*

Parámetro	Tratamiento			
	Q	SO ₂ R	SO ₂ R+Q	VT
IC	5,37 ± 0,28 a	4,97 ± 0,21 b	4,72 ± 0,19 b	3,75 ± 0,21 c
Tonalidad	0,83 ± 0,03 a	0,76 ± 0,30 b	0,81 ± 0,01 a	0,76 ± 0,02 b
L*	84,5 ± 0,6 c	85,2 ± 0,5 c	86,2 ± 0,5 b	88,8 ± 0,5 a
a*	13,4 ± 0,2 b	14,3 ± 0,3 a	12,6 ± 0,1 c	10,9 ± 0,1 d
b*	2,99 ± 0,81 a	1,79 ± 0,65 bc	2,45 ± 0,17 ab	1,30 ± 0,22 c
Polifenoles totales (mg/L)	457 ± 22 b	478 ± 22 ab	460 ± 10 b	492 ± 6 a
Antocianos (mg/L)	127 ± 6 c	150 ± 4 b	132 ± 15 c	195 ± 14 a
Taninos (mg/L)	132 ± 20 a	110 ± 11 ab	75,5 ± 25,3 c	83 ± 9,2 bc

Nota. Medias con distinta letra indican diferencias significativas para el Test de Tukey ($\alpha < 0,05$). Q es Quitosano; SO₂R es sulfito reducido; SO₂R+Q es sulfito y quitosano; VT es vinificación tradicional; IC es Intensidad Colorante; L* es luminosidad; a* es eje rojo-verde; b* es eje amarillo-azul.

Los vinos Q ($0,83 \pm 0,28$) y SO₂R+Q ($0,81 \pm 0,19$) presentaron la mayor tonalidad, en tanto que los vinos de los tratamientos restantes presentaron tonalidades menores, sin diferenciarse entre sí (Tabla 5).

En relación con el parámetro a* (componente rojo-verdoso del color), el tratamiento SO₂R presentó el valor más alto ($14,3 \pm 0,3$). Los tratamientos restantes se diferenciaron estadísticamente entre sí, siendo SO₂R+Q ($12,6 \pm 0,1$) y VT ($10,9 \pm 0,1$) los que registraron los valores más bajos respectivamente (Tabla 5). Mientras que en el parámetro b* (componente amarillo-azulado del color), los valores más altos se observaron en los tratamientos Q ($2,99 \pm 0,81$) y SO₂R+Q ($2,45 \pm 0,17$) quienes no se diferenciaron estadísticamente. Los vinos del tratamiento VT ($1,30 \pm 0,22$) presentaron los menores valores en este parámetro, mientras que, SO₂R ($1,79 \pm 0,65$) mostró valores intermedios sin diferencias significativas con el tratamiento testigo (Tabla 5).

En lo que respecta a la composición fenólica, el contenido más alto de polifenoles totales se observó en los vinos VT (492 ± 6) y SO₂R (478 ± 22), sin diferencias significativas entre ellos (Tabla 5). Los vinos de los demás tratamientos presentaron concentraciones menores sin diferencias significativas entre sí.

Los vinos de mínima intervención presentaron menores concentraciones de antocianos totales en comparación con los vinos testigo (195 ± 14) (Tabla 5). Dentro de los tratamientos de mínima intervención, SO₂R (150 ± 4) mostró un comportamiento intermedio mientras que Q (127 ± 6) y SO₂R+Q (132 ± 15) registraron los menores contenidos de antocianos significativamente.

Los vinos del tratamiento Q (132 ± 20) presentaron la mayor concentración de taninos significativamente, mientras que los vinos SO₂R+Q ($75,5 \pm 25,3$) las menores (Tabla 5). SO₂R (110 ± 11) y VT ($83 \pm 9,2$) mostraron valores intermedios sin diferencias significativas entre ellos (Tabla 5).

Los resultados muestran que las diferencias en el color de los vinos están determinadas por su composición fenólica vinculada a los tratamientos evaluados. El tratamiento con quitosano (Q) presentó la mayor intensidad colorante y tonalidad, a pesar de tener bajos niveles de antocianos totales, lo que podría atribuirse a su alta concentración de taninos, que podrían estabilizar el color por copigmentación (Peña, 2006). En contraste, el vino de vinificación tradicional (VT), con el mayor contenido de antocianos y polifenoles totales, fue el más luminoso y menos intenso en color, lo que sugiere una menor estabilización del color. El tratamiento combinado (SO₂R+Q) mostró valores intermedios tanto en parámetros cromáticos como fenólicos, mientras que SO₂R, con altos niveles de antocianos y polifenoles, se destacó por su componente rojo (a^*), aunque con menor tonalidad e intensidad colorante. Esto indica que no solo la cantidad, sino también la naturaleza y el equilibrio entre los distintos compuestos fenólicos (antocianos, taninos) influyen en la expresión cromática de los vinos (Bosso et al., 2009; Gutiérrez-Escobar et al., 2021; Piccardo & González-Neves, 2013).

3.5.2 Merlot

La intensidad de color (IC) no presentó diferencias significativas entre tratamientos, con valores que oscilaron entre $11,9 \pm 0,9$ (Q) y $10,9 \pm 0,4$ (SO₂R+Q) (Tabla 6). En cambio, la luminosidad (L^*) sí presentó diferencias entre los distintos tratamientos, siendo más luminosos los vinos del tratamiento SO₂R+Q ($71,5 \pm 0,8$) y testigo ($70,4 \pm 0,7$). Los tratamientos SO₂R ($69,3 \pm 0,6$) y Q ($69,2 \pm 1,7$) presentaron la luminosidad más baja significativamente (Tabla 6).

Tabla 6*Composición fenólica y color según tratamiento de los vinos Merlot*

Parámetro	Q	Tratamiento			VT
		SO ₂ R	SO ₂ R+Q		
IC	11,9 ± 0,9 a	11,4 ± 0,7 a	10,9 ± 0,4 a		10,9 ± 0,8 a
Tonalidad	0,68 ± 0,02 b	0,65 ± 0,01 c	0,70 ± 0,01 a		0,62 ± 0,01 d
L*	69,2 ± 1,7 b	69,3 ± 0,6 b	71,5 ± 0,8 a		70,4 ± 0,7 ab
a*	32,8 ± 1,4 a	33,4 ± 0,5 a	30 ± 0,4 b		34,1 ± 0,7 a
b*	6,04 ± 2,26 ab	5,08 ± 0,9 ab	6,86 ± 0,38 a		4,56 ± 0,18 b
Polifenoles totales (mg/L)	888 ± 41 bc	951 ± 16 ab	871 ± 47 c		971 ± 51 a
Antocianos (mg/L)	312 ± 17 b	329 ± 21 b	274 ± 9 c		377 ± 5 a
Taninos (mg/L)	428 ± 9 b	475 ± 9 a	418 ± 16 b		324 ± 10 c

Nota. Medias con distinta letra indican diferencias significativas para el Test de Tukey ($\alpha < 0,05$). Q es Quitosano; SO₂R es sulfito reducido; SO₂R+Q es sulfito y quitosano; VT es vinificación tradicional; IC es Intensidad Colorante; L* es luminosidad; a* es eje rojo-verde; b* es eje amarillo-azul.

Los vinos del tratamiento SO₂R+Q presentaron la mayor tonalidad ($0,7 \pm 0,01$) (Tabla 6). Los vinos del tratamiento Q ($0,68 \pm 0,02$) mostraron un valor intermedio, mientras que SO₂R ($0,65 \pm 0,01$) y VT ($0,62 \pm 0,01$) registraron los valores más bajos respectivamente, con diferencias significativas entre ellos.

Para el componente a*, SO₂R+Q presentó el valor más bajo, diferenciándose estadísticamente del resto de los tratamientos, los cuales no mostraron diferencias significativas entre sí (Tabla 6).

En el componente b*, SO₂R+Q registró el valor más alto ($6,86 \pm 0,38$), mientras que VT presentó el más bajo ($4,56 \pm 0,18$) (Tabla 6). Los tratamientos Q ($6,04 \pm 2,26$) y SO₂R ($5,08 \pm 0,88$) mostraron valores intermedios, sin diferenciarse estadísticamente de ningún tratamiento.

En cuanto a la composición fenólica, los polifenoles totales fueron significativamente más altos en los vinos del tratamiento VT (971 ± 51), aunque no se diferenciaron significativamente respecto a los vinos del tratamiento SO₂R (951 ± 16). Los tratamientos Q (888 ± 41) y SO₂R+Q (871 ± 47) presentaron los valores más bajos respectivamente, mostrando diferencias significativas entre sí (Tabla 6).

El contenido de antocianos totales fue significativamente mayor en el tratamiento testigo (377 ± 5) respecto a los vinos de mínima intervención. Los tratamientos SO_2R (329 ± 21) y Q (312 ± 17) mostraron valores intermedios sin diferencias significativas entre sí, mientras que $\text{SO}_2\text{R}+\text{Q}$ (274 ± 9) presentó la menor concentración de antocianos (Tabla 6).

En cuanto a los taninos, los vinos de mínima intervención presentaron mayores concentraciones independientemente del tratamiento con respecto a los vinos testigo. El tratamiento SO_2R (475 ± 9) presentó la mayor concentración, mientras que los tratamientos Q (428 ± 9) y $\text{SO}_2\text{R}+\text{Q}$ (418 ± 16) presentaron concentraciones intermedias sin diferencias significativas entre ellos. En contraste, VT (324 ± 10) presentó los menores contenidos de taninos (Tabla 6).

3.5.3 Tannat

Los vinos de mínima intervención presentaron significativamente mayor intensidad colorante (IC) y menor luminosidad (L^*) que los vinos testigo. El tratamiento Q presentó la mayor intensidad colorante ($20,7 \pm 0,8$) y la menor luminosidad (L^*) ($51,6 \pm 1,6$). Los vinos correspondientes a los tratamientos $\text{SO}_2\text{R}+\text{Q}$ y SO_2R mostraron valores intermedios de IC y L^* con diferencias significativas entre ellos, mientras que, el tratamiento VT registró la menor intensidad ($13,2 \pm 0,4$) y la mayor luminosidad ($63,7 \pm 0,7$) (Tabla 7).

Tabla 7*Composición fenólica y color según tratamiento de los vinos Tannat*

Parámetro	Tratamiento			
	Q	SO ₂ R	SO ₂ R+Q	VT
IC	20,7 ± 0,8 a	16,7 ± 0,3 c	19,0 ± 0,7 b	13,2 ± 0,4 d
Tonalidad	0,55 ± 0,01 c	0,56 ± 0,01 bc	0,58 ± 0,01 ab	0,60 ± 0,01 a
L*	51,6 ± 1,6 d	58,4 ± 0,4 b	54,3 ± 0,9 c	63,7 ± 0,7 a
a*	49,3 ± 1,5 a	46 ± 0,2 c	47 ± 0,8 bc	37,5 ± 1,6 d
b*	2,09 ± 1,60 a	1,52 ± 0,3 ab	2,22 ± 0,9 a	0,60 ± 0,4 bc
Polifenoles totales (mg/L)	1831 ± 88 ab	1678 ± 27 cd	1905 ± 112 a	1602 ± 71 d
Antocianos (mg/L)	648 ± 22 ab	624 ± 19 b	682 ± 16 a	670 ± 53 ab
Taninos (mg/L)	793 ± 445 b	705 ± 28 b	736 ± 60 b	1211 ± 98 a

Nota. Medias con distinta letra indican diferencias significativas para el Test de Tukey ($\alpha < 0,05$). Q es Quitosano; SO₂R es sulfito reducido; SO₂R+Q es sulfito y quitosano; VT es vinificación tradicional; IC es Intensidad Colorante; L* es luminosidad; a* es eje rojo-verde; b* es eje amarillo-azul.

En cuanto a la tonalidad, el vino del tratamiento VT ($0,6 \pm 0,01$) presentó el valor más alto (Tabla 7) sin diferenciarse estadísticamente de los vinos del tratamiento SO₂R+Q ($0,58 \pm 0,01$). Los vinos SO₂R mostraron una tonalidad intermedia ($0,56 \pm 0,01$), sin diferenciarse estadísticamente del tratamiento SO₂R+Q ni del tratamiento Q, quien arrojó los menores valores de tonalidad ($0,55 \pm 0,02$).

En el componente a*, los tratamientos de mínima intervención mostraron los valores más elevados, siendo el tratamiento Q, el que presentó el valor más alto ($49,3 \pm 1,5$), los tratamientos SO₂R+Q ($47 \pm 0,8$) y SO₂R ($46 \pm 0,2$) mostraron valores intermedios sin diferencias entre sí. En contraste, el tratamiento VT ($37,5 \pm 1,6$) mostró el valor más bajo (Tabla 7).

En b*, los tratamientos de mínima intervención no se diferenciaron entre sí y mostraron valores significativamente superiores al tratamiento VT ($0,6 \pm 0,41$) (Tabla 7).

En relación a la composición fenólica, los tratamientos SO₂R+Q (1905 ± 112) y Q (1831 ± 88) presentaron las concentraciones más altas de polifenoles totales, mientras que SO₂R (1678 ± 27) y VT (1602 ± 71) mostraron los valores más bajos (Tabla 7).

El contenido de antocianos fue superior en los vinos del tratamiento SO₂R+Q (682 ± 16), mientras que SO₂R (624 ± 19) presentó los menores contenidos (Tabla 7). Los

tratamientos VT (670 ± 53) y Q (648 ± 22) mostraron contenidos de antocianos intermedios sin diferenciarse de ningún tratamiento.

En cuanto al contenido de taninos, los vinos de mínima intervención no mostraron diferencias significativas entre tratamientos y presentaron concentraciones menores que el tratamiento VT, quien mostró los valores más elevados en este parámetro (Tabla 7).

3.6 Análisis sensorial de los vinos

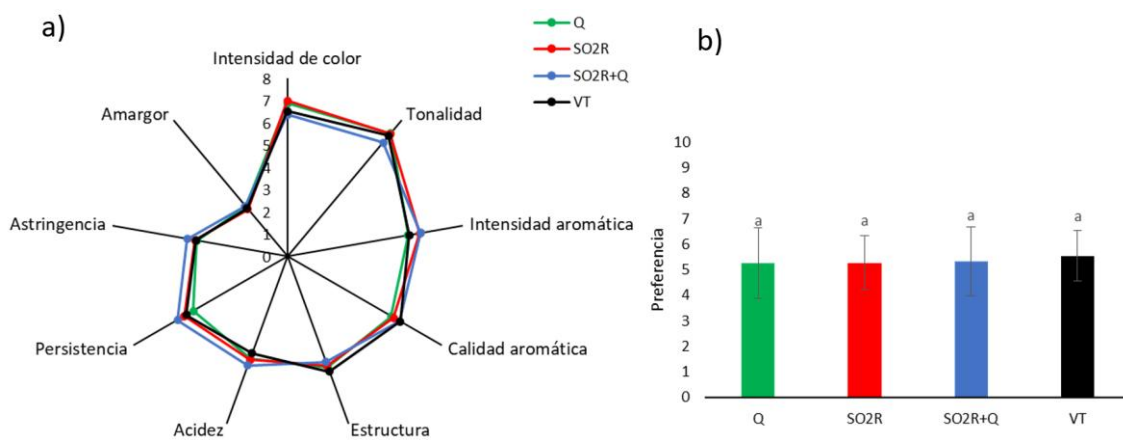
A los 7 meses de envasado se llevó a cabo una evaluación sensorial, por un panel compuesto por 12 expertos de distintas edades y repartidos de igual manera entre hombres y mujeres.

3.6.1 Marselan

Debido al estado general del vino del cultivar Marselan, se decidió no realizar la evaluación sensorial.

3.6.2 Merlot

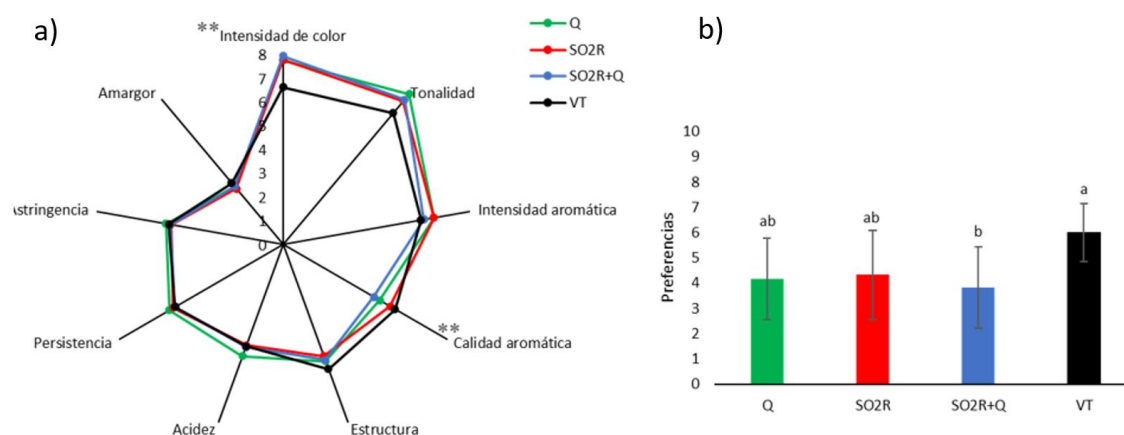
Desde el punto de vista sensorial no se detectaron diferencias significativas entre los vinos de mínima intervención y los correspondientes al tratamiento testigo en ninguno de los atributos evaluados por el panel de degustadores (Figura 18a). Del mismo modo, el parámetro de preferencia global no presentó variaciones significativas entre tratamientos, lo que evidencia una aceptabilidad sensorial equivalente entre los vinos de mínima intervención y los vinificados de manera tradicional (Figura 18b).

Figura 18*Análisis sensorial de los vinos Merlot*

Nota. Medias con distinta letra indican diferencias significativas para el Test de Tukey ($\alpha < 0,05$). Q es Quitosano; SO₂R es sulfito reducido; SO₂R+Q es sulfito y quitosano; VT es vinificación tradicional.

3.6.3 Tannat

En la Figura 19a, se muestran los atributos evaluados durante el análisis sensorial. Los vinos de mínima intervención tuvieron significativamente mayor intensidad de color y tonalidad, en comparación con los vinos testigo. En contraste, la calidad aromática fue mejor evaluada en los vinos testigo, aunque no se diferenció de los vinos correspondientes al tratamiento SO₂R+Q.

Figura 19*Análisis sensorial de los vinos Tannat*

Nota. Asteriscos (**) y medias con distinta letra indican diferencias significativas para el Test de Tukey ($\alpha < 0,05$). Q es Quitosano; SO₂R es sulfito reducido; SO₂R+Q es sulfito y quitosano; VT es vinificación tradicional.

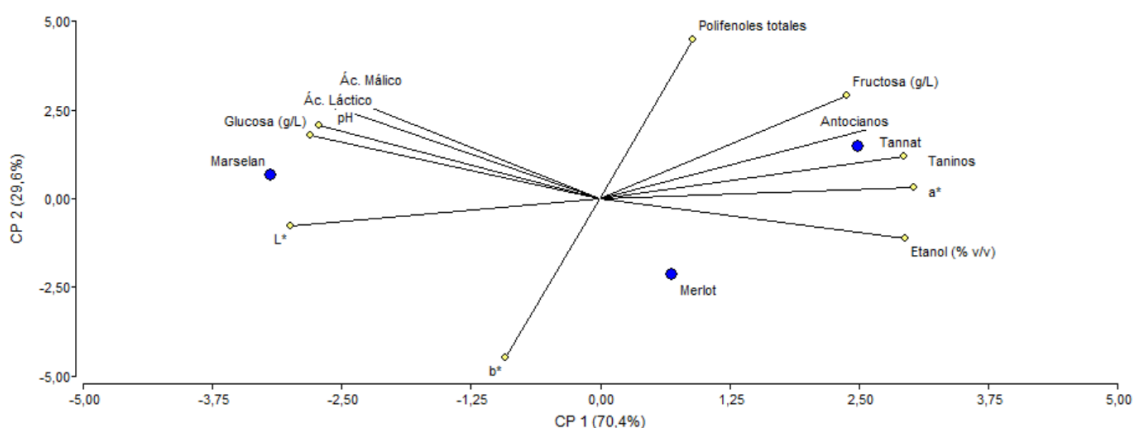
Los vinos correspondientes al tratamiento testigo fueron preferidos en comparación con los vinos del tratamiento SO₂R+Q (Figura 19b). Mientras que, los vinos de los tratamientos Q y SO₂R no se diferenciaron entre ellos, mostrando una preferencia intermedia, sin diferencias significativas con ningún tratamiento.

3.7 Análisis de componentes principales

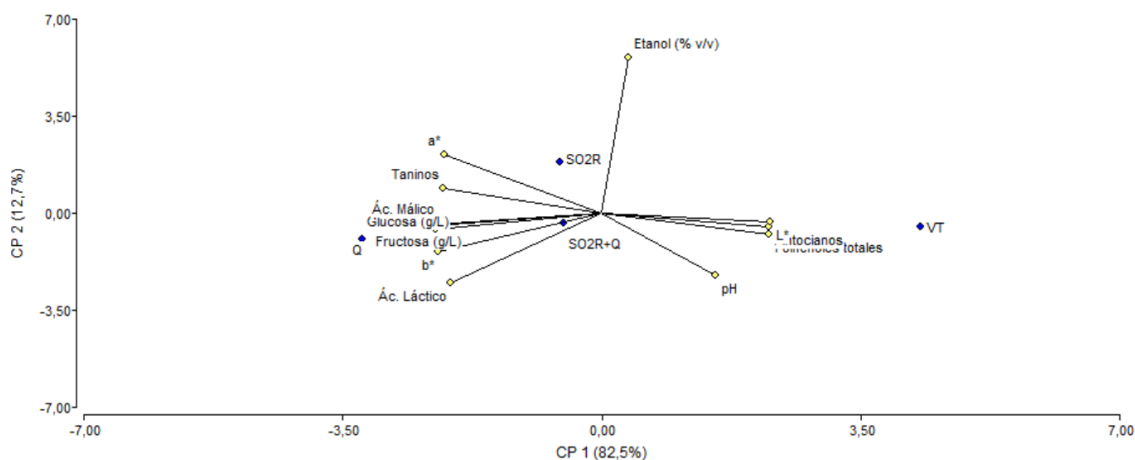
El análisis de componentes principales permitió asociar los cultivares a las diferentes con los diferentes parámetros enológicos y cromáticos analizados (Figura 20).

Figura 20

Análisis de componentes principales en función del cultivar



El primer componente (CP1), que explicó el 70,4% de la variabilidad total, separó principalmente a Tannat de Marselan, asociando al primer cultivar con mayores contenidos de antocianos, taninos, polifenoles totales, etanol, fructosa y mayor intensidad en el componente rojo (a^*), lo que evidencia un perfil más concentrado en compuestos fenólicos y color (Figura 20). En el extremo opuesto, Marselan se asoció con mayor luminosidad (L^*), acidez málica y láctica, mayor contenido de glucosa y pH más elevado, reflejando un perfil más fresco y menos estructurado. Por su parte, el segundo componente (CP2), que explicó un 29,6% adicional de la variabilidad, discriminó a Merlot del resto, ubicándolo en un cuadrante intermedio, pero más influido por el componente amarillo (b^*), sin asociarse fuertemente con ninguno de los parámetros dominantes. Estos resultados permiten visualizar las diferencias composicionales entre variedades tintas.

Figura 21*Análisis de componentes principales en función del tratamiento*

El análisis de componentes principales permitió diferenciar los tratamientos de vinificación en función de sus características enológicas y cromáticas (Figura 21). El primer componente (CP1), que explicó el 82,5% de la variabilidad total, separó principalmente al tratamiento de vinificación tradicional (VT) del resto, asociándolo con un mayor contenido de polifenoles totales, antocianos, pH y luminosidad (L*). En cambio, los tratamientos de mínima intervención (Q, SO₂R y SO₂R+Q) se ubicaron en el extremo opuesto, caracterizados por mayores concentraciones de ácidos málico y láctico, azúcares residuales (glucosa y fructosa), valores más altos de b* (componente amarillo) y menor contenido fenólico global. El segundo componente (CP2), que explicó un 17,7% adicional, permitió distinguir al tratamiento SO₂R por su mayor contenido de etanol y mayor intensidad en el componente rojo del color (a*), mientras que Q y SO₂R+Q se asociaron con una mayor acidez láctica y menor grado alcohólico. En conjunto, estos resultados reflejan el impacto diferencial de cada estrategia de conservación sobre la composición fenólica y el perfil cromático de los vinos elaborados.

4. DISCUSIÓN

4.1 Efecto de los tratamientos sobre la composición básica de los vinos

Los tratamientos evaluados mostraron diferencias tanto en la duración de la fermentación como en la cantidad de azúcares residuales. Asimismo, los tratamientos influenciaron parámetros básicos de los vinos como el pH y la acidez total.

4.1.1 Efecto sobre la fermentación alcohólica

Independientemente de las cinéticas registradas en los mostos de los diferentes cultivares, la fermentación alcohólica llevada a cabo por levaduras nativas fue más lenta que aquella con levaduras seleccionadas (*Saccharomyces cerevisiae*). Este comportamiento puede atribuirse a la mayor diversidad genética de las poblaciones de levaduras nativas, producto de una sucesión de diferentes cepas a lo largo del proceso fermentativo, la competencia entre microorganismos derivada del menor control microbiano, y su menor adaptación a las condiciones del mosto (Mas & Portillo, 2022), lo que puede provocar fermentaciones lentas o estancadas.

En contraposición, las levaduras empleadas en vinificaciones tradicionales como *Saccharomyces cerevisiae*, son seleccionadas por su eficiencia fermentativa, tolerancia al estrés ambiental y capacidad de generar alcohol (Varela et al., 2004).

Tal como se indicó en Materiales y Métodos, la primera dosificación de anhídrido sulfuroso en los tratamientos de mínima intervención SO₂R y SO₂R+Q se realizó al encubado, previo a la fermentación alcohólica. En consecuencia, esta aplicación pudo haber retrasado el inicio de la fermentación alcohólica debido al efecto antimicrobiano del anhídrido, especialmente sobre las levaduras nativas, que son más sensibles a este aditivo que las *Saccharomyces cerevisiae* (Cuijvers et al., 2020; Navarro et al., 2020). Sin embargo, la cinética fermentativa de estos tratamientos no difirió de la de los mostos Q, donde no se agregó anhídrido.

Entre los cultivares evaluados, se observaron diferencias en la duración de la fermentación alcohólica, atribuibles tanto a las condiciones en que se llevó a cabo la fermentación como a la composición del mosto en el momento de la cosecha.

En primer lugar, es importante considerar que las fechas de cosecha entre cultivares fueron diferentes: Merlot fue cosechado en primer lugar, seguido por Tannat y finalmente Marselan, con una diferencia de aproximadamente un mes entre el primero y el último. Dado que las fermentaciones se realizaron en recipientes de 10 litros sin control

de temperatura, las condiciones ambientales de bodega que varían a lo largo del tiempo, probablemente influyeron en la cinética fermentativa de cada cultivar. En segundo lugar, el contenido en nitrógeno asimilable del mosto desempeña un papel determinante en la actividad microbiológica durante la fermentación (Díaz & Gutiérrez, 2020). La carencia de nitrógeno disponible puede provocar detenciones o ralentización de la fermentación (Lleixà et al., 2016), particularmente en las etapas finales, cuando las condiciones son más limitantes.

Si bien en esta investigación no se determinó el contenido de nitrógeno del mosto, su concentración en la uva depende del cultivar, el manejo agronómico, el estado de madurez y las condiciones climáticas, especialmente durante la maduración (Verdenal et al., 2021), y es crucial para sostener la actividad fermentativa hacia el final del proceso (Cheng et al., 2016).

De acuerdo con los criterios establecidos para vinos de mínima intervención, no se realizaron agregados de nutrientes nitrogenados. Sin embargo, para el caso del mosto Tannat, se decidió realizar una dosificación mínima de nitrógeno luego de haberse detectado una parada de fermentación al día 10 del encubado. Si bien este agregado activó la fermentación de los mostos, no aceleró su cinética de forma significativa.

Desde el punto de vista microbiológico, los diferentes cultivares mostraron altas poblaciones de levaduras a los tres días del encubado, independientemente de la dosis de sulfitos aplicada. Es importante considerar que este recuento no permite identificar las especies que llevaron adelante la fermentación alcohólica. Según Fleet (1990, 2008), durante los primeros días de fermentación con levaduras nativas (cuando el grado alcohólico es bajo), predominan levaduras apiculadas como *Hanseniaspora*, *Candida*, *Pichia*, *Hansenula*, *Rhodotorula* y *Brettanomyces*, mientras que partir del tercer día, la fermentación es dominada por levaduras del género *Saccharomyces* (Berradre et al., 2012; Ribéreau-Gayon, 1985).

Asimismo, se detectaron poblaciones elevadas de bacterias ácido lácticas ($>6 \log$ UFC/mL), especialmente en los primeros días de fermentación, lo que es esperable en vendimias con bayas dañadas (Franco et al., 2019; Lafon-Lafourcade et al., 1983).

Además, los azúcares residuales de los vinos elaborados con levaduras nativas fueron elevados en algunos tratamientos, aunque se encuentran dentro de los valores reportados para este tipo de vinificaciones (Morata et al., 2009). Estos resultados podrían

sugerir una fermentación alcohólica incompleta, posiblemente asociada a limitaciones nutricionales, ambientales o a la menor eficiencia fermentativa de estas levaduras, en comparación con las seleccionadas.

No obstante, las levaduras nativas mostraron una alta capacidad de sobrevivencia en un medio con elevada concentración de etanol ($>7,5\%$ v/v), en concordancia con Fernández-Pacheco et al. (2021). En general, los vinos de mínima intervención alcanzaron niveles de alcohol similares a los obtenidos mediante vinificación tradicional.

4.1.2 Efecto sobre el pH y la acidez del vino

A los 3 meses del envasado, el pH y la acidez total de los vinos se vieron fuertemente influenciados por el tratamiento aplicado. Los tratamientos de mínima intervención, especialmente Q, mostraron mayores variaciones en estos parámetros, asociadas tanto al control microbiológico como al desarrollo de la fermentación maloláctica.

En los vinos elaborados a partir de los cultivares Merlot y Tannat, los tratamientos con quitosano (Q) presentaron los valores de pH más bajos, lo que se relacionó con mayores niveles de acidez total. Este comportamiento podría explicarse por un menor desarrollo de fermentación maloláctica (FML), donde se degrada el ácido málico (dicarboxílico) en ácido láctico (monocarboxílico), con liberación de CO_2 al medio, lo que implica una disminución en la acidez total (Lonvaud, 2002). Sin embargo, esta relación no ocurrió de manera uniforme entre cultivares. En Tannat, los vinos del tratamiento Q presentaron mayor contenido de ácido málico y láctico que el resto de los tratamientos. En contraste, los vinos Merlot, presentaron la menor concentración de ácido málico y láctico. Esto sugiere un mayor avance de la FML en este cultivar, lo que podría estar relacionado con el perfil microbiológico particular de esa vinificación, en especial con la actividad de bacterias ácido lácticas, cuya evolución se vio favorecida por la ausencia o reducción de sulfitos añadidos.

En el caso de Marselan, los valores de pH fueron elevados en todos los tratamientos, en línea con lo reportado para este cultivar en Uruguay (González-Neves et al., 2015). Valores elevados de pH ($> 3,6$) favorecen el crecimiento de bacterias lácticas, así como de bacterias acéticas, lo que puede resultar perjudicial para la calidad del vino (Du Toit & Pretorius, 2000; Lafon-Lafourcade et al., 1983). Además, como se mencionó anteriormente, la uva Marselan se cosechó priorizando el estado sanitario, ya que la uva

con podredumbre (especialmente la causada por *Botrytis cinerea*) puede alterar la composición química de las bayas, incluyendo aumentos de pH (Sotomayor Soler, 1982). Este pH elevado puede verse acentuado cuando el estado sanitario de las uvas en el momento de cosecha se encuentra comprometido, lo que favorece el desarrollo microbiano (Du Toit & Pretorius, 2000; Lafon-Lafourcade et al., 1983). En los vinos testigo, los valores de pH fueron más bajos en comparación con los tratamientos de mínima intervención, lo cual es deseable desde el punto de vista de la estabilidad microbiológica. Esto refuerza el rol del anhídrido sulfuroso como regulador indirecto del equilibrio ácido-base del vino, a través del control de la flora microbiana (Morgan et al., 2019).

La presencia de una fermentación maloláctica parcial se observó en todos los tratamientos, evidenciada por los contenidos de ácido láctico (Lonvaud, 2002). Los tratamientos Q y SO₂R+Q presentaron los mayores niveles de este ácido, indicando una mayor actividad de bacterias lácticas, posiblemente favorecida por la ausencia o reducción en las dosis de anhídrido sulfuroso. Esto coincide con lo reportado por Fleet et al. (1984), quienes observaron una mayor proliferación de estas bacterias en vinos con elevado pH o con bajo control microbiano.

En todos los casos, el tratamiento testigo, presentó mayor concentración de ácido málico y menores niveles de ácido láctico, lo que sugiere una fermentación maloláctica menos activa, en línea con el uso convencional de anhídrido sulfuroso (Mota et al., 2018; Quirós et al., 2012).

4.2 Efecto de los tratamientos sobre el color y la composición fenólica de los vinos

Los resultados obtenidos muestran que los tratamientos de mínima intervención ejercieron efectos significativos sobre la expresión cromática y fenólica de los vinos, aunque con comportamientos variables según el cultivar.

4.2.1 Efecto sobre el color

En términos generales, los vinos elaborados con tratamientos de mínima intervención, en especial Q y SO₂R+Q, tendieron a mostrar mayores intensidades colorantes que los vinos del tratamiento testigo en los cultivares Marselan y Tannat. Este comportamiento podría atribuirse a una mayor extractibilidad de compuestos fenólicos en ausencia de sulfitos al inicio de la fermentación. El anhídrido sulfuroso empleado al inicio de la fermentación puede inhibir enzimas oxidativas presentes naturalmente en las

uvas, como la polifenoloxidasa, que facilita la extracción de pigmentos como antocianinas (Valero Ruiz, 1993). Además, niveles elevados han sido asociados a efectos de decoloración en vinos (Sims & Morris, 1984).

En el caso de Merlot, no se observaron diferencias significativas en la intensidad colorante entre tratamientos. Sin embargo, la luminosidad fue menor en los vinos elaborados mediante mínima intervención, lo que indica vinos más oscuros en comparación con el testigo.

Respecto a la tonalidad, los vinos Marselan y Merlot de mínima intervención tendieron a exhibir mayores valores que los vinos testigo. Este resultado podría relacionarse a un color más intenso y violáceo, característico de pigmentos más jóvenes, asociados también a vinos sin sulfitos añadido, en línea con lo señalado por Pelonnier-Magimel et al. (2023).

4.2.2 Efecto sobre la composición fenólica

En cuanto a los polifenoles totales, los tratamientos testigo y SO₂R mostraron las concentraciones más altas en Marselan y Merlot, sin diferencias significativas entre ellos. Esta tendencia podría explicarse por una mejor conservación de compuestos fenólicos bajo condiciones más antioxidantes, proporcionadas por el agregado de anhídrido sulfuroso (Mlček et al., 2023). En Tannat se mantiene esa equivalencia de polifenoles totales entre los tratamientos VT y SO₂R, aunque en este caso, ambos tratamientos presentan los menores valores de polifenoles respecto a Q y SO₂R+Q.

En relación con los antocianos, los vinos testigo de Marselan y Merlot presentaron las concentraciones más elevadas, en comparación con los tratamientos de mínima intervención. En cambio, los vinos Tannat, no mostraron diferencias significativas en el contenido de estos compuestos. Es posible que en Marselan y Merlot, los tratamientos de mínima intervención hayan promovido una mayor copigmentación entre antocianos y taninos, debido a la capacidad de las levaduras nativas de adsorber antocianos a su pared celular durante la maceración (Medina et al., 2018), disminuyendo la proporción de antocianos libres en estos vinos (Berké & de Freitas, 2005; González-Manzano et al., 2009; Peña, 2006).

En cuanto a los taninos, Tannat presentó la mayor concentración en el tratamiento testigo en comparación con los tratamientos de mínima intervención, mientras que, en

Marselan y Merlot, estos últimos presentaron las mayores concentraciones con respecto al tratamiento testigo.

Estos resultados sugieren que la reducción o ausencia de sulfitos no solo afecta la extracción inicial de compuestos durante la maceración, sino también su estabilidad posterior, de forma variable según el cultivar. La interacción entre taninos, antocianos y otros compuestos fenólicos está fuertemente influenciada por las condiciones de fermentación y por el nivel de protección antioxidante del medio (Favre et al., 2013), lo cual debe ser considerado en el momento de diseñar estrategias de vinificación de mínima intervención.

4.2.3 Efecto sobre las características sensoriales

Los vinos Merlot de mínima intervención y los correspondientes al tratamiento testigo no presentaron diferencias en la evaluación sensoriales (Figura 18a), evidenciando una aceptabilidad sensorial equivalente entre los vinos de mínima intervención y los vinificados de manera tradicional (Figura 18b).

En Tannat, los vinos de mínima intervención tuvieron significativamente mayor intensidad de color y tonalidad en comparación con los vinos testigo (Figura 19a). Si bien estos últimos fueron preferidos en comparación con los vinos del tratamiento $\text{SO}_2\text{R}+\text{Q}$, fueron igualmente aceptados que los tratamientos Q y SO_2R (Figura 19b).

5. CONCLUSIONES

Los resultados obtenidos en este trabajo permiten concluir que es posible vinificar mediante prácticas de mínima intervención, utilizando alternativas como el quitosano o la reducción del anhídrido sulfuroso, logrando vinos de características microbiológicas, fisicoquímicas y sensoriales comparables a los producidos mediante vinificación tradicional. Para el cultivar Merlot, el tratamiento más efectivo fue el Sulfito Reducido (SO₂R), en tanto que para Tannat, fueron, Quitosano (Q) y Sulfito Reducido más Quitosano (SO₂R+Q). No obstante, estas prácticas implican riesgos enológicos específicos, sobre todo en términos de control microbiológico que deben ser cuidadosamente gestionados desde el viñedo y a lo largo de todo el proceso de elaboración. El estado sanitario de la uva del cultivar Marselan determinó que los vinos elaborados no fueran aptos para su consumo.

En este contexto, este estudio destaca el estado sanitario de la uva en el momento de la cosecha como factor determinante en el éxito de estas vinificaciones. La presencia de podredumbres afecta negativamente la composición del mosto, favoreciendo el desarrollo de microorganismos indeseables, especialmente en sistemas de elaboración con baja o nula utilización de sulfitos donde el margen de intervención es considerablemente más limitado. Por tanto, la selección del momento óptimo de cosecha, considerando no solo parámetros tecnológicos (como el contenido de azúcares o acidez) sino también criterios sanitarios, constituye un pilar fundamental para el éxito en la elaboración de vinos de calidad en sistemas de mínima intervención.

Los resultados del análisis sensorial reflejan que los vinos de mínima intervención fueron igual de aceptados que los tradicionales, lo que sugiere una buena viabilidad comercial en determinados contextos. Además, los tratamientos mostraron diferencias en la cinética de fermentación, la concentración de polifenoles, antocianos y la expresión del color, aportando información relevante para la optimización de estas estrategias.

Esto refuerza la necesidad de adoptar un enfoque integral, que combine criterios agronómicos, microbiológicos y tecnológicos, especialmente en la búsqueda de prácticas sostenibles y responsable, sin comprometer la estabilidad ni la calidad del producto final.

Finalmente, este estudio pone de manifiesto la importancia de mejorar la comunicación hacia el consumidor, especialmente en lo que respecta a la información disponible en el etiquetado de este tipo de vinos. La falta de definiciones normativas

claras sobre los vinos de mínima intervención, genera confusión en el mercado y limita el reconocimiento de este tipo de prácticas.

6. PERSPECTIVAS

Los resultados de este trabajo sugieren que, en contextos climáticos favorables como años secos y con buena sanidad del viñedo, especialmente durante la madurez de la uva, sería factible realizar vinificaciones con mínima intervención. En estas condiciones, el uso exclusivo de levaduras nativas podría aprovecharse como una herramienta para reforzar la autenticidad del perfil sensorial y la expresión del terroir, contribuyendo a vinos más representativos del entorno en que fueron producidos. Dados los resultados obtenidos en este trabajo, es importante continuar la investigación considerando evaluar los tratamientos de mínima intervención en diferentes años y diferentes cultivares para determinar cómo influyen estas variables en el éxito de estas vinificaciones.

Por otra parte, la información declarada en el etiquetado debería reflejar de manera clara, verificable y estandarizada de los métodos de producción utilizados, promoviendo la transparencia hacia el consumidor y facilitando el posicionamiento de estos productos en un mercado cada vez más orientado hacia la sostenibilidad, inocuidad alimentaria y trazabilidad.

7. BIBLIOGRAFÍA

- Alcalde-Eon, C., Boido, E., Carrau, F., Dellacassa, E., & Rivas-Gonzalo, J. (2006). Pigment profiles in monovarietal wines produced in Uruguay. *American Journal of Enology and Viticulture*, 57(4), 449-459.
<https://doi.org/10.5344/ajev.2006.57.4.449>
- Alonso, P., Parga, E., & Fuentes, R. (2022). Certification of natural wine: Policy controversies and future prospects. *Frontiers in Sustainable Food Systems*, 6, Artículo e875427. <https://doi.org/10.3389/fsufs.2022.875427>
- Asociación de Productores de Vinos Naturales. (2015, 2 de junio). *Vino Natural: La verdad sin etiquetas*. <https://www.vinosnaturales.org/vino-natural-la-verdad-sin-etiquetas/>
- Associazione VinNatur. (s.f.). *Procedural regulations for “VinNatur wine” production*. <https://www.vinnatur.org/app/uploads/2024/09/Disciplinare-VinNatur-2020-ENG-1.pdf>
- Ayala, F., Echávarri, J. F., & Negueruela, A. I. (1997). A new simplified method for measuring the color of wines: Red and rose wines. *American Journal of Enology and Viticulture*, 48(3), 357-363.
https://www.researchgate.net/publication/285660003_A_new_simplified_method_for_measuring_the_color_of_wines_I_Red_and_rose_wines
- Bas Nahas, G. (2019). *Comparación de variables vegetativas, ecofisiológicas y enológicas del mosto de uvas blancas y tintas, de viñedos conducidos en tres sistemas: Poda mínima, poda rasa de precisión y espaldero vertical simple en la región Occitania Francia* [Tesis de maestría, Universidad Nacional de Cuyo]. Bdigital. https://bdigital.uncu.edu.ar/objetos_digitales/14328/tesis-gonzalo-g.-bas-nahas-versin-definitiva.pdf
- Berké, B., & de Freitas, V. A. (2005). Influence of procyanidin structures on their ability to complex with oenin. *Food chemistry*, 90(3), 453-460.
<https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2004.05.009>

- Berradre, M., Aiello Mazzarri, C., Mesa, L., Arraiz, N., Prieto, C., Ortega, J., Sulbarán, B., Ojeda de Rodríguez, G., Fernández, V., Martínez J., & Esteve-Zarzoso, B. (2012). Dinámica poblacional de levaduras durante la fermentación espontánea de uva blanca variedad Malvasía. *Revista de la Facultad de Agronomía*, 29, 453-474. https://www.researchgate.net/profile/Betzabe-Sulbaran/publication/284712626_Dinamica_poblacional_de_levaduras_durante_la_fermentacion_espontanea_de_uva_blanca_variedad_Malvasia_Yeasts_population_dynamics_during_the_spontaneous_fermentation_of_white_grape_variety_Malvasia/links/5656425708ae1ef92979f460/Dinamica-poblacional-de-levaduras-durante-la-fermentacion-espontanea-de-uva-blanca-variedad-Malvasia-Yeasts-population-dynamics-during-the-spontaneous-fermentation-of-white-grape-variety-Malvasia.pdf
- Bertrand, M., Simonin, S., & Bach, B. (2024). Applications of chitosan in the agri-food sector: A review. *Carbohydrate Research*, 543, Artículo e109219. <https://doi.org/10.1016/j.carres.2024.109219>
- Boido, E., Alcalde-Eon, C., Carrau, F., Dellacassa, E., & Rivas-Gonzalo, J. (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>
- Bosso, A., Guaita, M., Panero, L., Borsa, D., & Follis, R. (2009). Influence of two winemaking techniques on polyphenolic composition and color of wines. *American Journal of Enology and Viticulture*, 60(3), 379-385. <https://www.ajevonline.org/content/60/3/379>
- Bucková, M., Puškárová, A., Ženišová, K., Kraková, L., Piknová, L., Kuchta, T., & Pangallo, D. (2018). Novel insights into microbial community dynamics during the fermentation of Central European ice wine. *International Journal of Food Microbiology*, 266, 42-51. <https://doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2017.11.010>
- Carbonneau, A., Moueix, A., Leclair, N., & Renoux, J. (1991). Proposition d'une méthode de prélèvement de raisin à partir de l'analyse de l'hétérogénéité de maturation sur un cep. *Bulletin de l'OIV*, 727/728, 679 – 690. <https://pandor.u-bourgogne.fr/archives-en-ligne/ark:/62246/r16011zsqmg6hk/fl2?locale=fr>

- Carrau, F., Boido, E., Gaggero, C., Medina, K., Fariña, L., Disegna, E., & Dellacassa, E. (2011). Vitis vinifera Tannat, chemical characterization and functional properties: Ten years of research. En R. Filip (Ed.), *Multidisciplinary Approaches on Food Science and Nutrition for the XXI Century* (pp. 53-71). Transworld Research Network. https://www.researchgate.net/profile/Francisco-Carrau/publication/235986407_Multidisciplinary_Approaches_on_Food_Science_and_Nutrition_for_the_XXI_Century/links/0c960521a2ea56f766000000/Multidisciplinary-Approaches-on-Food-Science-and-Nutrition-for-the-XXI-Century.pdf
- Cassen, R. (1987). Our common future: Report of the World Commission on Environment and Development. *International Affairs*, 64(1), 126. <https://www.deepdyve.com/lp/oxford-university-press/our-common-future-report-of-the-world-commission-on-environment-and-RoIj63E0hT>
- Castellini, A., Mauracher, C., & Troiano, S. (2017). An overview of the biodynamic wine sector. *International Journal of Wine Research*, 9(1), 1-11. https://www.researchgate.net/publication/313686822_An_overview_of_the_biodynamic_wine_sector
- Cheng, Y., Du, Z., Zhu, H., Guo, X., & He, X. (2016). Protective effects of arginine on *Saccharomyces cerevisiae* against ethanol stress. *Scientific Reports*, 6, Artículo e31311. <https://www.nature.com/articles/srep31311>
- Cravero, M. (2019). Organic and biodynamic wines quality and characteristics: A review. *Food Chemistry*, 295, 334-340. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2019.05.149>
- Cuijvers, K., Van Den Heuvel, S., Varela, C., Rullo, M., Solomon, M., Schmidt, S., & Borneman, A. (2020). Alterations in yeast species composition of uninoculated wine ferments by the addition of sulphur dioxide. *Fermentation*, 6(2), Artículo e62. <https://doi.org/10.3390/fermentation6020062>
- D'Amico, M., Di Vita, G., & Monaco, L. (2016). Exploring environmental consciousness and consumer preferences for organic wines without sulfites. *Journal of Cleaner Production*, 120, 64-71. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.02.014>

- Dash, M., Chiellini, F., Ottenbrite, R., & Chiellini, E. (2011). Chitosan: A versatile semi-synthetic polymer in biomedical applications. *Progress in Polymer Science*, 36(8), 981-1014. <https://doi.org/10.1016/j.progpolymsci.2011.02.001>
- Decreto n° 103/994. (1994). Industria vitivinícola: Vinos inaptos para consumo. En *Registro Nacional de leyes y decretos* (Vol. 1, p. 307). IMPO. <https://www.impo.com.uy/bases/decretos/103-1994/3>
- De la Fuente, M. (2024, 13 de julio). El consumo del vino está cambiando a nivel global y las bodegas van por las nuevas oportunidades. *La Nación*. <https://www.lanacion.com.ar/economia/campo/el-consumo-del-vino-esta-cambiando-a-nivel-global-y-las-bodegas-van-por-las-nuevas-oportunidades-nid13072024/>
- Delmas, M., & Lessem, N. (2015). Eco-premium or eco-penalty?: Eco-labels and quality in the organic wine market. *Business & Society*, 56(2), 318-356. https://www.researchgate.net/publication/262687614_Eco-Premium_or_Eco-Penalty_Eco-Labels_and_Quality_in_the_Organic_Wine_Market
- Díaz, I., & Gutiérrez, G. (2020). Rol del nitrógeno en la fermentación alcohólica y su manejo. *Informativo INIA Raihuén*, (68). <https://hdl.handle.net/20.500.14001/4006>
- Du Toit, M., & Pretorius, I. S. (2000). Microbial spoilage and preservation of wine: Using weapons for nature's own arsenal: A review. *South African Journal of Enology and Viticulture*, 21(1), 74-96. <https://pdfs.semanticscholar.org/74bc/dc0eee6387b97b89718bb972b076163694de.pdf>
- Favre, G., Charamelo, D., & González-Neves, G. (2013). Empleo de taninos enológicos y maceración prefermentativa en frío en una experiencia de elaboración de vinos tintos Tannat. *Agrociencia (Uruguay)*, 17(1), 65-73. <https://doi.org/10.31285/AGRO.17.516>
- Favre, G., Gómez-Alonso, S., Pérez-Navarro, J., García-Romero, E., Mena-Morales, A., Piccardo, D., & González-Neves, G. (2023). Seed and skin-derived flavanols in red wine: A study of Syrah, Marselan, and Tannat cultivars. *European Food Research and Technology*, 250, 845-857. <https://doi.org/10.1007/s00217-023-04407-6>

- Fernández-Pacheco, P., Zaparoli Rosa, I., Arévalo-Villena, M., Gomes, E., & Briones Pérez, A. (2021). Study of potential probiotic and biotechnological properties of non-Saccharomyces yeasts from fruit Brazilian ecosystems. *Brazilian Journal of Microbiology*, 52, 2129-2144. <https://doi.org/10.1007/s42770-021-00541-z>
- Ferrer, M., González-Neves, G., Echeverría, G., Camussi, G., Avondet, A., Fourment, M., Favre, G., & Salvarrey, J. (2011). Efecto del estrés climático sobre la respuesta de la planta y la composición de la uva Tannat (*Vitis vinifera* L.) en viñedos del Uruguay. *Enología*, 7, 1-12.
https://d1wqtxts1xzle7.cloudfront.net/78628506/EFEECTO_DEL ESTRS CLIM TICO SOBRE LA RESPU20220113-15672-upz11a.pdf?1738466372=&response-content-disposition=inline%3B+filename%3DEfecto_Del_Estres_Climatico_Sobre_La_Res.pdf&Expires=1752079243&Signature=cmLbv8Vj87WZ5rsCWA5Jn2bW1b16fNWrvMGfjXN8p~DKVF6VgQIUEFryc6oxgb7uqJN5a8xt4~OKW7cetdvhLn7rJgCFfl8MyNWjMh7WxCEWn0o9W1DTebfXwfCjx~x7rNEK9ITk-LJJd1ncfjD-wykp8BS68GFe9GaDzVjWM2CVH4dW8KOsudtESSQ2RE~A-baLr-KGTJyF-qQjnRfo~aNZI1MuFizcTbT02rVU4CcJIf70j0nu~6fF7BHAXLne~LIQoLkNPoGQD1c8eTj1sJM8S~hErdKMQCFx0E7-ycj77xuIuDMYU9Qwn~3eq8ANV11XpPLa-0ZDUIJndqRog_&Key-Pair-Id=APKAJLOHF5GGSLRBV4ZA
- Ferrer, M., González-Neves, G., Echeverría, G., Camussi, G., Avondet, R., Salvarrey, J., Favre, G., & Fourment, M. (2011). Comportamiento agronómico y potencial enológico de la uva Tannat en tres regiones climáticas uruguayas. *Agrociencia (Uruguay)*, 15(1), 37-49. http://www.scielo.edu.uy/scielo.php?pid=S2301-15482011000100005&script=sci_arttext
- Ferrer, M., Pedocchi, R., Michelazzo, M., González-Neves, G., & Carbonneau, A. (2007). Delimitación y descripción de regiones vitícolas del Uruguay en base al método de clasificación climática multicriterio utilizando índices bioclimáticos adaptados a las condiciones del cultivo. *Agrociencia (Uruguay)*, 11(1), 47-56. <https://www.acuedi.org/ddata/5753.pdf>

- Fleet, G. (1990). Growth of yeasts during wine. *Journal of Wine Research*, 1(3), 211-223. <https://doi.org/10.1080/09571269008717877>
- Fleet, G. (2008). Wine yeasts for the future. *FEMS Yeast Research*, 8(7), 979-995. <https://doi.org/10.1111/j.1567-1364.2008.00427.x>
- Fleet, G., Lafon-Lafourcade, S., & Ribéreau-Gayon, P. (1984). Evolution of yeasts and lactic acid bacteria during fermentation and storage of Bordeaux wines. *Applied and Environmental Microbiology*, 48(5), 1034-1038. <https://doi.org/10.1128/aem.48.5.1034-1038.1984>
- Forbes, S., Cohen, D., Cullen, R., Wratten, S., & Fountain, J. (2009). Consumer attitudes regarding environmentally sustainable wine: An exploratory study of the New Zealand marketplace. *Journal of cleaner production*, 17(13), 1195-1199. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2009.04.008>
- Franco, W., Valencia, P., Ramírez, C., & Urtubia, A. (2019). Detección de levaduras y bacterias ácido lácticas nativas de diferentes cultivares chilenos: Potenciales especies para la producción de vinos reducidos en alcohol. *Bio Web of Conferences*, 12, Artículo e02022. <https://doi.org/10.1051/bioconf/20191202022>
- Galati, A., Schifani, G., Crescimanno, M., & Migliore, G. (2019). “Natural wine” consumers and interest in label information: An analysis of willingness to pay in a new Italian wine market segment. *Journal of Cleaner Production*, 227, 405-413. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.04.219>
- Giraldo, J. (2015). *Propiedades, obtención, caracterización y aplicaciones del quitosano*. https://www.researchgate.net/publication/277302110_PROPIEDADES_OBTENCION_CARACTERIZACION_Y_APLICACIONES_DEL_QUITOSANO
- Glories, Y. (1984a). La couleur des vins rouges. 1re partie: Les équilibres des anthocyanes et des tanins. *Connaissance de la vigne et du vin*, 18(3), 195-217. <https://doi.org/10.20870/oeno-one.1984.18.3.1751>
- Glories, Y. (1984b). La couleur des vins rouges. 2e partie: Mesure, origine et interprétation. *Connaissance de la vigne et du vin*, 18(4), 253-271. <https://doi.org/10.20870/oeno-one.1984.18.4.1744>

- González, K., Jiménez, D., Cornejo, E., & Martínez-Contreras, E. (2018). *Evaluación económica de dos procesos alternativos de producción, vinificación y embotellado para una empresa productora y elaboradora de vinos: Convencional versus orgánico* [Trabajo final de grado, Universidad del Bío-Bío]. REPOBIB. <http://repobib.ubiobio.cl/jspui/handle/123456789/3329>
- González-Manzano, S., Dueñas, M., Rivas-Gonzalo, J., Escribano-Bailón, M., & Santos-Buelga, C. (2009). Studies on the copigmentation between anthocyanins and flavan-3-ols and their influence in the colour expression of red wine. *Food Chemistry*, 114(2), 649-656. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2008.10.002>
- González-Neves, G. (2005). *Etude de la composition polyphénolique des raisins et des vins des cépages Merlot, Cabernet-Sauvignon et Tannat provenant de vignes conduites en lyre et en espalier dans le sud de l'Uruguay* [Disertación doctoral, Ecole Nationale Supérieure Agronomique de Montpellier]. Academia. https://www.academia.edu/24600061/Etude_de_la_composition_polyph%C3%A9nolique_des_raisins_et_des_vins_des_c%C3%A9pages_Merlot_Cabernet_Sauvignon_et_Tannat_provenant_de_vignes_conduites_en_Lyre_et_en_Espalier_dans_le_sud_de_lUruguay
- González-Neves, G., Charamelo, D., Balado, J., Barreiro, L., Bochicchio, R., Gatto, G., Gil, G., Tessore, A., Carbonneau, 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., Favre, G., Piccardo, D., Ferrer, M., & Echeverría, G. (2015). Efecto de técnicas alternativas de maceración sobre el color y composición de vinos tintos de seis variedades de uva. *Agrociencia (Uruguay)*, 19(1), 57-68. http://www.scielo.edu.uy/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2301-15482015000100007&lng=es&tlng=es

- González-Neves, G., Ferrer, M., Franco, J., Balado, J., Barreiro, L., Boichichio, R., Gatto, G., & Tessore, A. (2006). La variedad de uva como factor de diferenciación de los vinos: Aplicación al estudio de los vinos tintos de Uruguay. *Enología*, 3(5), 1-12. https://www.researchgate.net/profile/Gustavo-Gonzalez-Neves/publication/260283533_LA_VARIEDAD_DE_UVA_COMO_FACTOR_DE_DIFERENCIACION_DE_LOS_VINOS_APLICACION_AL_ESTUDIO_DE_LOS_VINOS_TINTOS_DE_URUGUAY/links/0a85e5307802d8648f000000/LA-VARIEDAD-DE-UVA-COMO-FACTOR-DE-DIFERENCIACION-DE-LOS-VINOS-APLICACION-AL-ESTUDIO-DE-LOS-VINOS-TINTOS-DE-URUGUAY.pdf?origin=scientificContributions
- 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://www.researchgate.net/publication/236261393_Differentiation_of_Tannat_Cabernet_Sauvignon_and_Merlot_grapes_from_Uruguay_according_to_their_general_composition_and_polyphenolic_potential
- 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 Pro. (2025). [Uruguay. Mapa]. Recuperado el 15 de enero de 2025, de https://www.google.com.uy/maps/place/Uruguay/@-32.5096817,-61.0719697,1891443m/data=!3m2!1e3!4b1!4m6!3m5!1s0x9575073afb5fde09:0x4a5596616016524a!8m2!3d-32.522779!4d-55.765835!16zL20vMDd0d3o!5m2!1e4!1e2?hl=es-419&entry=tту&g_ep=EgoyMDI1MDkwOC4wIKXMDSOASAFQAw%3D%3D
- Goycoolea, F., Argüelles-Monal, W., Peniche, C., & Higuera-Ciapara, I. (2000). Chitin and chitosan. *Developments in Food Science* 41, 265-308. [https://doi.org/10.1016/S0167-4501\(00\)80013-8](https://doi.org/10.1016/S0167-4501(00)80013-8)

- Grangeteau, C., David, V., Hervé, A., Guilloux-Benatier, M., & Rousseaux, S. (2017). The sensitivity of yeasts and yeasts-like fungi to copper and sulfur could explain lower yeast biodiversity in organic vineyards. *FEMS yeast research*, 17, Artículo fox092. <https://doi.org/10.1093/femsyr/fox092>
- Gutiérrez-Escobar, R., Aliaño-González, M., & Cantos-Villar, E. (2021). Wine polyphenol content and its influence on wine quality and properties: A review. *Molecules*, 26(3), Artículo e718. <https://doi.org/10.3390/molecules26030718>
- Helander, I. M., Nurmiaho-Lassila, E. -L., Ahvenainen, R., Rhoades, J., & Roller, S. (2001). Chitosan disrupts the barrier properties of the outer membrane of Gram-negative bacteria. *International Journal of Food Microbiology*, 71(2-3), 235-244. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0168160501006092#:~:text=Discussion,anionic%20detergents%2C%20dyes%20and%20bile>
- Hidalgo Togores, J. (2002). *Tratado de enología: Tomo 1*. Mundi-Prensa.
- Hidalgo Togores, J. (2003). *Tratado de enología: Tomo 2*. Mundi-Prensa.
- Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria. (2025). *Banco de datos agroclimáticos*. <https://www.inia.uy/gras/Clima/Banco-datos-agroclimatico>
- Instituto Nacional de Vitivinicultura. (s.f.). *Programa de Viticultura Sostenible de Uruguay*. <https://www.inavi.com.uy/programa-de-viticultura-sostenible/>
- Instituto Nacional de Vitivinicultura. (2023). *Estadísticas de viñedos 2023: Datos nacionales*. <https://www.inavi.com.uy/uploads/vinedo/b001699f9585532cfd1fa06a35756544f917eda5.pdf>
- Integrated Production of Wine. (s.f.). *The Integrated Production Of Wine Sheme (IPW)*. <https://www.ipw.co.za/>
- Johansen, A. (2010). *Financial feasibility study for converting a conventionally farmed vineyard to an organic vineyard* [Trabajo final de grado, California Polytechnic State University]. Cal Poly. <https://digitalcommons.calpoly.edu/cgi/viewcontent.cgi?referer=&httpsredir=1&article=1049&context=agbsp>
- Julius Kühn-Institut. (2025a). *Marselan*. <https://www.vivc.de/index.php?r=passport%2Fview&id=16383>

Julius Kühn-Institut. (2025b). *Merlot*.

<https://www.vivc.de/index.php?r=passport%2Fview&id=7657>

Julius Kühn-Institut. (2025c). *Tannat*.

<https://www.vivc.de/index.php?r=passport%2Fview&id=12257>

Lafon-Lafourcade, S., Carre, E., & Ribéreau-Gayon, P. (1983). Occurrence of lactic acid bacteria during the different stages of vinification and conservation of wines.

Applied and Environmental Microbiology, 46(4), 874-880.

<https://doi.org/10.1128/aem.46.4.874-880.1983>

La patronal europea del vino advierte de que la caída del consumo es el núcleo de la actual crisis del sector vitivinícola. (2024, 11 de setiembre). *Revista Enólogos*.

<https://revistaenologos.es/la-patronal-del-vino-europeo-advierde-de-que-la-caida-del-consumo-es-el-nucleo-de-la-actual-crisis-del-sector/>

L'Association des Vins Naturels. (2018, 1 de febrero). *Cahier des charges d'un vin AVN*.

<http://avn.vin/category/L-association-Cahier-des-charges>

Legeron, I. (2018). *Natural wine: An introduction to organic and biodynamic wines made naturally* (2nd ed.). Ryland Peters & Small.

https://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=ECB9DwAAQBAJ&oi=fnd&pg=PT16&dq=Natural+wine:+An+introduction+to+organic+and+biodynamic+wines+made+naturally&ots=wgVQpZjRaQ&sig=9_9Ir6Kt441cZcrA6lme1rCG_fQ#v=onepage&q=Natural%20wine%3A%20An%20introduction%20to%20organic%20and%20biodynamic%20wines%20made%20naturally&f=false

Legeron, I. (2021, 23 de diciembre). *What is Natural Wine?*

<https://www.rawwine.com/learn/what-is-natural-wine/>

Les vins naturels. (s.f.). *Vin naturel*. <https://vin-naturel.be/fr/content/43-les-vins-naturels>

Li, Z., Huang, J., Wang, L., Li, D., Chen, Y., Xu, Y., & Luo, Z. (2024). Novel insight into the role of sulfur dioxide in fruits and vegetables: Chemical interactions, biological activity, metabolism, applications, and safety. *Food Science and Nutrition*, 64(24), 8741-8765. <https://doi.org/10.1080/10408398.2023.2203737>

- Lleixà, J., Manzano, M., Mas, A., & Portillo, M. (2016). Saccharomyces and non-Saccharomyces competition during microvinification under different sugar and nitrogen conditions. *Frontiers in Microbiology*, 7, Artículo e01959. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2016.01959>
- Lonvaud, A. (2002). Bacterias lácticas y fermentación maloláctica (FML). *Wine Internet Technology Journal*, (5). <https://www.infowine.com/wp-content/uploads/2024/04/libretto825-01-1.pdf>
- Marcos, U. (2025, 10 de enero). *El vino natural, más que una categoría, una filosofía de elaboración*. Vinetur. <https://www.vinetur.com/2025011083959/el-vino-natural-mas-que-una-categoria-una-filosofia-de-elaboracion.html>
- Mas, A., & Portillo, M. (2022). Strategies for microbiological control of the alcoholic fermentation in wines by exploiting the microbial terroir complexity: A mini-review. *International Journal of Food Microbiology*, 367, Artículo e109592. <https://doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2022.109592>
- Maykish, A., Rex, R., & Sikalidis, A. (2021). Organic winemaking and its subsets: Biodynamic, natural, and clean wine in California. *Foods*, 10(1), Artículo e127. <https://doi.org/10.3390/foods10010127>
- McLaren Vale Grape, Wine & Tourism Association. (2021). *What is sustainable winegrowing Australia?* <https://members.mclarenvale.info/esg/sustainable-winegrowing-australia>
- Medina, K., Boido, E., Dellacassa, E., & Carrau, F. (2018). Effects of non-Saccharomyces yeasts on color, anthocyanin, and anthocyanin-derived pigments of Tannat grapes during fermentation. *American Journal of Enology and Viticulture*, 69(2), 148-156. <https://doi.org/10.5344/ajev.2017.17055>
- Mendoza, A. (2024, 29 de marzo). *Vinos naturales: Desnaturalizando lo natural*. Enolife. <https://enolife.com.ar/es/vinos-naturales-desnaturalizando-lo-natural-por-angel-a-mendoza/>

- Mlček, J., Jurikova, T., Bednaříková, R., Snopek, L., Ercisli, S., & Tureček, O. (2023). The influence of sulfur dioxide concentration on antioxidant activity, total polyphenols, flavonoid content and individual polyphenolic compounds in white wines during storage. *Agriculture*, 13(7), Artículo e1439. <https://doi.org/10.3390/agriculture13071439>
- Morata, A., Loira, I., Palomero, F., Benito, S., González, M., & Suárez-Lepe, J. (2009). *Selección Saccharomyces cerevisiae con baja producción de etanol para control del grado alcohólico en zonas cálidas* [Póster]. VII Foro Mundial del Vino, La Rioja. <https://oa.upm.es/8931/>
- Morgan, S., Tantikachornkiat, M., Scholl, C., Benson, N., Cliff, M., & Durall, D. (2019). The effect of sulfur dioxide addition at crush on the fungal and bacterial communities and the sensory attributes of Pinot gris wines. *International Journal of Food Microbiology*, 290, 1-14. <https://doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2018.09.020>
- Mota, R., Ramos, C., Peregrino, I., Hassimotto, N., Purgatto, E., Souza, C., Dias, D., & Regina, M. (2018). Identification of the potential inhibitors of malolactic fermentation in wines. *Food Science and Technology*, 38(Suppl. 1), 174-179. <https://doi.org/10.1590/1678-457X.16517>
- Nadal, M., Sánchez-Ortiz, A., Azuara, M., & Leriche, C. (2014). *Impacto del portainjerto y el deshojado en la composición de la uva de la variedad Marselan*. https://www.researchgate.net/profile/Marie-Azuara-2/publication/352283534_Impacto_del_portainjerto_y_el_deshojado_en_la_composicion_de_la_uva_de_la_variedad_Marselan/links/60c1ccf2a6fdcc2e612c37d2/Impacto-del-portainjerto-y-el-deshojado-en-la-composicion-de-la-uva-de-la-variedad-Marselan.pdf
- Navarro, Y., Torija, M., Mas, A., & Beltran, G. (2020). Viability-PCR Allows Monitoring Yeast Population Dynamics in Mixed Fermentations Including Viable but Non-Culturable Yeasts. *Foods*, 9(10), Artículo e1373. <https://doi.org/10.3390/foods9101373>

- New Zealand Wine. (2020). *Sustainable Winegrowing New Zealand*.
<https://www.nzwine.com/en/sustainability/swnz/#:~:text=Sustainable%20Winegrowing%20New%20Zealand%E2%84%A2,industria%20vitivin%C3%ADcola%20internacional%20en%201995>
- Organización Internacional de la Viña y el Vino. (2004). *Resolución CST 1/2004*.
<https://www.oiv.int/public/medias/2074/cst-1-2004-en.pdf>
- Organización Internacional de la Viña y el Vino. (2008). *Resolución CST 1/2008*.
<https://www.oiv.int/public/medias/2090/cst-1-2008-es.pdf>
- Organización Internacional de la Viña y el Vino. (2009). *Resolución OIV/OENO 368/2009: Monografía sobre el quitosano*. www.oiv.int/public/medias/1128/oiv-oeno-368-2009-es.pdf
- Organización Internacional de la Viña y el Vino. (2016). *Código internacional de prácticas enológicas*. <https://www.oiv.int/public/medias/4902/code-2016-es.pdf>
- Organización Internacional de la Viña y el Vino. (2023). *Enfoque: Evolución de la producción y el consumo mundial de vino por colores*.
<https://www.oiv.int/es/prensa/enfoque-evolucion-de-la-produccion-y-el-consumo-mundial-de-vino-por-colores>
- Ough, C., & Crowell, E. (1987). Use of sulfur dioxide in winemaking. *Journal of Food Science*, 52(2), 386-388. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.1987.tb06620.x>
- Pelonnier-Magimel, E., Chira, K., Teissèdre, P., Jourdes, M., & Barbe, J. (2023). Color characterization of bordeaux red wines produced without added sulfites. *Foods*, 12(12), Artículo e2358. <https://doi.org/10.3390/foods12122358>
- Peña, A. (2006). El color de los vinos. *Vendimia*, 24-26.
<http://www.gie.uchile.cl/pdf/Alvaro%20Pe%F1a/Color%20del%20vino.pdf>
- Piccardo, D., Favre, G., Pascual, O., Canals, J., Zamora, F., & González-Neves, G. (2019). 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://doi.org/10.1007/s00217-019-03258-4>

- Piccardo, D., & González-Neves, G. (2013). Extracción de polifenoles y composición de vinos tintos Tannat elaborados por técnicas de maceración prefermentativa. *Agrociencia (Uruguay)*, 17(1), 36-44.
<http://www.scielo.edu.uy/pdf/agro/v17n1/v17n1a04.pdf>
- PlantGrape. (2023a). *Marselan N: Variedad de uva de vino*.
www.plantgrape.fr/es/variedades/variedades-frutales/157/exportacion
- PlantGrape. (2023b). *Merlot N: Variedad de uva de vino*.
www.plantgrape.fr/es/variedades/variedades-frutales/164/exportacion
- PlantGrape. (2023c). *Tannat N: Variedad de uva de vino*.
www.plantgrape.fr/es/variedades/variedades-frutales/268/exportacion
- Quirós, C., Herrero, M., García, L., & Díaz, M. (2012). Effects of SO₂ on lactic acid bacteria physiology when used as a preservative compound in malolactic fermentation. *Journal of the Institute of Brewing*, 118(1), 89-96.
<https://doi.org/10.1002/jib.9>
- Reglamento (CE) nº 1169/2011. Del Parlamento Europeo y del Consejo de 25 de octubre de 2011 sobre los aditivos en la alimentación animal. (2011, 22 de noviembre). *Diario Oficial de la Unión Europea*, L304, 18-63.
<https://www.boe.es/doue/2011/304/L00018-00063.pdf>
- Remaud, H., Mueller, S., Chvyl, P., & Lockshin, L. (2008, 17-19 de julio). *Do australian wine consumers value organic wine?* [Contribución]. 4th International Conference of the Academy of Wine Business Research, Siena.
http://academyofwinebusiness.com/wp-content/uploads/2010/04/Do-Australian-wine-consumers-value-organic-wine_paper.pdf
- Ribéreau-Gayon, P. (1985). New developments in wine microbiology. *American Journal of Enology and Viticulture*, 36(1), 1-10.
<https://doi.org/10.5344/ajev.1985.36.1.1>
- Ribéreau-Gayon, P., Dubourdieu, D., Donèche, B., & Lonvaud, A. (2006). *Handbook of enology: Vol. 1. The microbiology of wine and vinifications* (2nd ed.) John Wiley & Sons.
- Ribéreau-Gayon, P., & Stonestreet, E. (1965). Determination of anthocyanins in red wine. *Bulletin de la Societe Chimique de France*, 9, 2649-2652.

- Rosenson, J. (2022, 29 de abril). *Understanding The Difference Between the Organic Wine and Biodynamic Wine*.
<https://www.coquelicotwines.com/blog/Understanding-The-Difference-Between-the-Organic-Wine-and-Biodynamic-Wine>
- Ross, K., & Golino, D. (2008). Wine grapes go green: The sustainable viticulture story. *California Agriculture*, 62(4), 125-126.
<https://californiaagriculture.org/article/109200-wine-grapes-go-green-the-sustainable-viticulture-story>
- Santos, M., Nunes, C., Saraiva, J., & Coimbra, M. (2012). Chemical and physical methodologies for the replacement/reduction of sulfur dioxide use during winemaking: Review of their potentialities and limitations. *European Food Research Technology* 234, 1-12. <https://doi.org/10.1007/s00217-011-1614-6>
- Sarneckis, C., Dambergis, 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>
- Schimmenti, E., Migliore, G., Di Franco, C., & Borsellino, V. (2016). Is there sustainable entrepreneurship in the wine industry?: Exploring Sicilian wineries participating in the SOStain program. *Wine Economics and Policy*, 5(1), 14-23.
<https://doi.org/10.1016/j.wep.2016.05.001>
- Scott Marshall, R., Cordano, M., & Silverman, M. (2005). Exploring individual and institutional drivers of proactive environmentalism in the US wine industry. *Business strategy and the environment*, 14(2), 92-109.
<https://doi.org/10.1002/bse.433>
- Selinger, H. (2023, 5 de mayo). *What's the Difference Between Organic and Biodynamic Wine?* Wine Enthusiast. https://www.wineenthusiast.com/basics/whats-the-difference-between-organic-and-biodynamic-wine/?srsltid=AfmBOorZAgYcedAdIWw_F3UA7EavX9xivhWSNANWFvR6Uxgp889sxYy-

- Sellers-Rubio, R., & Nicolau-Gonzalbez, J. (2016). Estimating the willingness to pay for a sustainable wine using a Heckit model. *Wine Economics and Policy*, 5(2), 96-104. <https://doi.org/10.1016/j.wep.2016.09.002>
- Shahidi, F., Arachchi, J., & Jeon, Y. (1999). Food applications of chitin and chitosans. *Trends in food science & technology*, 10(2), 37-51. [https://doi.org/10.1016/S0924-2244\(99\)00017-5](https://doi.org/10.1016/S0924-2244(99)00017-5)
- Sims, C., & Morris, J. (1984). Effects of pH, sulfur dioxide, storage time, and temperature on the color and stability of red muscadine grape wine. *American Journal of Enology and Viticulture*, 35(1), 35-39. <https://doi.org/10.5344/ajev.1984.35.1.35>
- 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://doi.org/10.5344/ajev.1965.16.3.144>
- Sotomayor Soler, J. (1982). Efecto de diferentes grados de ataque de Botrytis en frutos de vid cv. Sauvignonasse sobre las características del vino. *Agricultura Técnica*, 42(3), 223-226. https://oes.chileanjar.cl/files/V42I3A07_es.pdf
- Szolnoki, G. (2013). A cross-national comparison of sustainability in the wine industry. *Journal of Cleaner Production*, 53, 243-251. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2013.03.045>
- Terra Hominis. (s.f.). *Terra Hominis*. <https://terrahominis.com/le-syndicat-de-defense-des-vins-naturel/>
- Tirzo, L. (2024, 30 de octubre). ¿Sabes la diferencia entre vinos orgánicos, biodinámicos y naturales? El conocedor. <https://revistaelconocedor.net/index.php/2024/10/30/sabes-la-diferencia-entre-vinos-organicos-biodinamicos-y-naturales/>
- Valero Ruiz, E. (1993). *Caracterización cinética de la polifenol oxidasa de uva Airen: Efecto de inhibidores* [Disertación doctoral]. Universidad de Castilla.
- Vally, H., Misso, N., & Madan, V. (2009). Clinical effects of sulphite additives. *Clinical & Experimental Allergy*, 39(11), 1643-1651. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2222.2009.03362.x>

- Varela, C., Pizarro, F., & Agosin, E. (2004). Biomass content governs fermentation rate in nitrogen-deficient wine musts. *Applied and environmental microbiology*, 70(6), 3392-3400. <https://doi.org/10.1128/AEM.70.6.3392-3400.2004>
- Verdenal, T., Dienes-Nagy, Á., Spangenberg, J., Zufferey, V., Spring, J., Viret, O., Marin-Carbonne, J., & Van Leeuwen, C. (2021). Understanding and managing nitrogen nutrition in grapevine. *Oeno one*, 55(1), 1-43. <https://doi.org/10.20870/oeno-one.2021.55.1.3866>
- Vinissimus. (s.f.). *¿Qué diferencias hay entre un vino ecológico, natural y biodinámico?* https://www.vinissimus.com/es/content/el-vino-ecologico-natural-y-biodinamico/?srsId=AfmBOopLyudAFtWNi2idc4XqsuJr-Gsc_w_XDWakVEDtMVP-OaeXMZrE
- Vin method nature. (s.f.). *Label & Procédure*. <https://vinmethodenature.org/le-label/>
- Vini Veri. (s.f.). *La Regola*. <https://www.viniveri.net/la-regola/>
- Vitis International Variety Catalogue. (2025a, 29 de setiembre). *Marselan*. <https://www.vivc.de/index.php?r=passport%2Fview&id=16383>
- Vitis International Variety Catalogue. (2025b, 29 de setiembre). *Merlot Noir*. <https://www.vivc.de/index.php?r=passport%2Fview&id=7657>
- Vitis International Variety Catalogue. (2025c, 29 de setiembre). *Tannat*. <https://www.vivc.de/index.php?r=passport%2Fview&id=12257>
- Warner, K. (2007). The quality of sustainability: Agroecological partnerships and the geographic branding of California winegrapes. *Journal of Rural Studies*, 23(2), 142-155. <https://doi.org/10.1016/j.jrurstud.2006.09.009>
- Weibel, M. (s.f.). *Química del dióxido de azufre en el vino*. <https://t-d-i.es/quimica-del-dioxido-de-azufre-en-el-vino/>
- Wine Institute. (2020, 5 de junio). *Consumer & Trade Research Shows Increased Demand for Sustainably Produced Wine*. <https://wineinstitute.org/press-releases/consumer-trade-research-shows-increased-demand-for-sustainably-produced-wine/>

- Xu, W. T., Huang, K. L., Guo, F., Qu, W., Yang, J. J., Liang, Z. H., & Luo, Y. B. (2007). Postharvest grapefruit seed extract and chitosan treatments of table grapes to control *Botrytis cinerea*. *Postharvest Biology and Technology*, 46(1), 86-94. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2007.03.019>
- Younes, M., Aquilina, G., Castle, L., Engel, K., Fowler, P., Frutos Fernandez, M., Fürst, P., Gundert-Remy, U., Gürtler, R., Husøy, T., Manco, M., Mennes, W., Moldeus, P., Passamonti, S., Shah, R., Waalkens-Berendsen, I., Boon, P., Cheyns, K., Crebelli, R., ... Wright, M. (2022). Follow-up of the re-evaluation of sulfur dioxide (E 220), sodium sulfite (E 221), sodium bisulfite (E 222), sodium metabisulfite (E 223), potassium metabisulfite (E 224), calcium sulfite (E 226), calcium bisulfite (E 227) and potassium bisulfite (E 228). *EFSA Journal*, 20(11), Artículo e07594. <https://doi.org/10.2903/j.efsa.2022.7594>
- Zalazar, M. (2024, 8 de diciembre). El consumo per cápita de vino es el más bajo de los últimos 60 años. *Infobae*. <https://www.infobae.com/economia/2024/12/08/el-consumo-per-capita-de-vino-es-el-mas-bajo-de-los-ultimos-60-anos/>