



UNIVERSIDAD NACIONAL DE CUYO
FACULTAD DE CIENCIAS APLICADAS A LA
INDUSTRIA



INCIDENCIA DE LA TÉCNICA DE SOMBRERO
SUMERGIDO EN LA OPTIMIZACIÓN OPERATIVA
Y LA CALIDAD DEL VINO MALBEC
EN SAN PATRICIO DEL CHAÑAR

Tesis presentada como requisito para obtener el título de
Licenciado en Enología

Autor

Ricardo Lucas Galante

Director

Ing. Santiago Sari

Abril de 2026



UNCUYO
UNIVERSIDAD
NACIONAL DE CUYO



FACULTAD DE
CIENCIAS APLICADAS
A LA INDUSTRIA

ACADÉMICA
SECRETARÍA
ACADÉMICA



UNIVERSIDAD NACIONAL DE CUYO
FACULTAD DE CIENCIAS APLICADAS A LA
INDUSTRIA



INCIDENCIA DE LA TÉCNICA DE SOMBRERO
SUMERGIDO EN LA OPTIMIZACIÓN OPERATIVA
Y LA CALIDAD DEL VINO MALBEC
EN SAN PATRICIO DEL CHAÑAR

Ricardo Lucas Galante

La presente tesis fue aprobada por:

Nombre y firma (Evaluador 1) _____ Fecha _____

Nombre y firma (Evaluador 2) _____ Fecha _____

Nombre y firma (Evaluador 3) _____ Fecha _____

Director de tesis _____ Fecha _____

FACULTAD DE CIENCIAS APLICADAS A LA INDUSTRIA
UNIVERSIDAD NACIONAL DE CUYO

San Rafael, Mendoza, 2026



UNCUYO
UNIVERSIDAD
NACIONAL DE CUYO



FACULTAD DE
CIENCIAS APLICADAS
A LA INDUSTRIA

ACADÉMICA
SECRETARÍA
ACADÉMICA

AGRADECIMIENTOS

Quisiera expresar mi más sincero agradecimiento a todas las personas e instituciones que hicieron posible la realización de esta tesis.

En primer lugar, al Ing. Santiago Sari, por su acompañamiento como director de tesis, por su guía, sus aportes y su predisposición a lo largo de todo el proceso.

A Bodega Del Fin Del Mundo, por brindarme el espacio, los recursos y las condiciones necesarias para el desarrollo de este trabajo en un contexto productivo real, permitiendo llevar adelante la intervención propuesta a escala industrial.

A mis compañeros de trabajo y al equipo de bodega, por su colaboración en las tareas operativas y su compromiso durante las distintas etapas de elaboración.

A mi familia, por su apoyo incondicional, su paciencia y su acompañamiento constante.

Finalmente, a todas aquellas personas que, de una y otra manera, contribuyeron al desarrollo de esta tesis.

RESUMEN

INCIDENCIA DE LA TÉCNICA DE SOMBRERO SUMERGIDO EN LA OPTIMIZACIÓN OPERATIVA Y LA CALIDAD DEL VINO MALBEC EN SAN PATRICIO DEL CHAÑAR

La presente tesis de intervención evalúa el impacto de la técnica de maceración con sombrero sumergido (MSS) en la elaboración de vinos Malbec a escala industrial en comparación con la maceración tradicional (MTR) bajo condiciones productivas reales en Bodega Del Fin Del Mundo. El objetivo fue analizar su efecto sobre la calidad enológica del vino y su desempeño operativo, considerando parámetros analíticos, sensoriales y de eficiencia en el uso de recursos.

Se desarrolló un diseño experimental comparativo durante tres vendimias consecutivas (2023-2025) en el que se elaboraron vinos mediante ambos sistemas de maceración manteniendo constantes el resto de las condiciones de vinificación. Se evaluaron variables analíticas (índice de polifenoles totales e intensidad colorante), parámetros fisicoquímicos (graduación alcohólica, pH, acidez total y acidez volátil), comportamiento sensorial mediante pruebas discriminativas y de preferencia, así como variables operativas y energéticas del proceso.

Los resultados mostraron que los vinos elaborados mediante MSS presentaron valores promedio superiores de índice de polifenoles totales y de intensidad colorante en todas las vendimias, observándose una tendencia hacia una mayor extracción fenólica bajo las condiciones evaluadas. No se detectaron diferencias sensoriales significativas entre los tratamientos ni una preferencia consistente por parte de los evaluadores. Desde el punto de vista operativo el sistema MSS redujo la carga de trabajo en aproximadamente 24,7 % en horas-hombre por vasija, mientras que el consumo energético asociado a las operaciones mecánicas disminuyó en torno al 24 % respecto al sistema tradicional.

En conjunto, los resultados indican que la técnica de maceración con sombrero sumergido constituye una alternativa técnicamente viable para la vinificación de Malbec a escala industrial al permitir optimizar la extracción fenólica y la eficiencia operativa del proceso sin comprometer la calidad sensorial del vino.

Palabras Clave: maceración con sombrero sumergido, Malbec, extracción fenólica, vinificación, eficiencia operativa.

ABSTRACT

IMPACT OF THE SUBMERGED CAP TECHNIQUE ON OPERATIONAL EFFICIENCY AND MALBEC WINE QUALITY IN SAN PATRICIO DEL CHAÑAR

This intervention thesis evaluates the impact of the submerged cap maceration technique (MSS) on Malbec wine production at an industrial scale, in comparison with traditional maceration (MTR), under real production conditions at Bodega Del Fin Del Mundo. The objective was to analyze its effect on wine quality and operational performance, considering analytical, sensory, and resource efficiency parameters.

A comparative experimental design was carried out over three consecutive vintages (2023–2025), in which wines were produced using both maceration systems while keeping all other vinification conditions constant. Analytical variables (total polyphenol index and color intensity), physicochemical parameters (alcohol content, pH, total acidity, and volatile acidity), sensory behavior through discriminative and preference tests, as well as operational and energy-related variables were evaluated.

The results showed that the MSS system led to higher values of total polyphenol index and color intensity in all vintages, showing a trend toward greater phenolic extraction under the evaluated conditions. No significant sensory differences were detected between treatments, nor was a consistent preference observed among evaluators. From an operational perspective, the MSS system reduced labor requirements by approximately **24.7%** in man-hours per tank, while energy consumption associated with mechanical operations decreased by about **24%** compared with the traditional system..

Overall, the results indicate that submerged cap maceration is a technically viable alternative for industrial-scale Malbec vinification, allowing optimization of phenolic extraction and operational efficiency without negatively affecting the sensory quality of the wine.

Keywords: Malbec, submerged cap maceration, phenolic extraction, wine production, operational efficiency.

ÍNDICE

RESUMEN	ii
ABSTRACT	iii
DECLARACIÓN.....	ix
ABREVIATURAS	x
CAPÍTULO I - INTRODUCCIÓN	1
1.1 Planteamiento del problema	1
1.2 Objetivos.....	2
1.3 Hipótesis	2
1.4 Alcance y limitaciones.....	2
CAPÍTULO II - REVISIÓN DEL CONOCIMIENTO ACTUAL	3
2.1 Fundamentos de la maceración en vinos tintos	3
2.2 Extracción de compuestos fenólicos.....	4
2.3 Variables que afectan la maceración	5
2.4 Técnicas de maceración en vinificación en tinto	6
2.4.1 Maceración tradicional	6
2.4.2 Otras técnicas de maceración.....	6
2.5 Técnica de maceración con sombrero sumergido.....	7
2.5.1 Principio de funcionamiento.....	7
2.5.2 Potenciales implicancias enológicas y operativas	8
2.6 Antecedentes y estudios previos	9
2.7 Evaluación sensorial y su relación con parámetros analíticos.....	10
CAPÍTULO III - MATERIALES Y MÉTODOS.....	12
3.1 Material vegetal	12
3.2 Diseño experimental y tratamientos	13
3.3 Condiciones de fermentación y manejo del proceso	16

3.4 Descripción operativa de los tratamientos	17
3.4.1 Operaciones comunes previas al encubado	17
3.4.2 Tratamiento MSS: maceración con sombrero sumergido	17
3.4.3 Tratamiento MTR: maceración tradicional.....	18
3.4.4 Síntesis comparativa de la organización operativa	19
3.5 Variables analíticas y sensoriales evaluadas.....	19
3.5.1 Variables Analíticas.....	20
3.5.2 Evaluación sensorial	20
3.6 Análisis de variables operativas y energéticas.....	21
3.6.1 Variables operativas.....	21
3.6.2 Variables energéticas	22
3.6.3 Criterios de comparación	23
3.7 Análisis estadístico	23
3.8 Determinaciones espectrofotométricas del color y del índice de polifenoles totales.....	24
CAPÍTULO IV - RESULTADOS	26
4.1 Resultados analíticos	26
4.1.1 Graduación Alcohólica	26
4.1.2 pH y acidez total	27
4.1.3 Acidez volátil.....	29
4.1.4 Índice de Polifenoles Totales (IPT)	30
4.1.5 Intensidad colorante (IC)	33
4.2 Resultados sensoriales	35
4.3 Resultados operativos	37
4.4 Resultados energéticos.....	39
CAPÍTULO V - CONCLUSIÓN INTEGRADORA.....	42
5.1 Síntesis de los resultados	42

5.2 Conclusión integradora	43
5.3 Limitaciones del estudio	45
BIBLIOGRAFÍA	47
ANEXO I.....	49
Imágenes del proceso de vinificación.....	49

ÍNDICE DE TABLAS

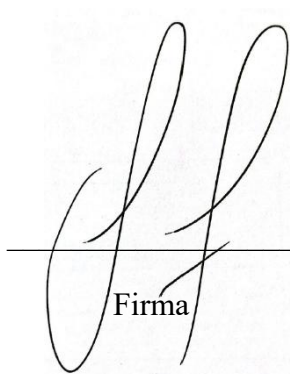
Tabla 1. Graduación alcohólica (% v/v) de los vinos elaborados mediante maceración tradicional (MTR) y maceración con sombrero sumergido (MSS) en las tres cosechas evaluadas	26
Tabla 2. pH y acidez total de los vinos elaborados mediante maceración tradicional (MTR) y maceración con sombrero sumergido (MSS) al finalizar la fermentación alcohólica en las tres cosechas evaluadas.....	28
Tabla 3. Acidez volátil de los vinos elaborados mediante maceración tradicional (MTR) y maceración con sombrero sumergido (MSS) al finalizar la fermentación alcohólica en las tres cosechas evaluadas.....	29
Tabla 4. Índice de Polifenoles Totales (IPT) en vinos Malbec elaborados mediante maceración tradicional (MTR) y maceración con sombrero sumergido (MSS) en las vendimias 2023–2025 (media $\pm$ DE; n = 5)	31
Tabla 5. Análisis de varianza bifactorial (ANOVA) para el Índice de Polifenoles Totales (IPT).....	32
Tabla 6. Intensidad colorante (IC) en vinos Malbec elaborados mediante maceración tradicional (MTR) y maceración con sombrero sumergido (MSS) en las vendimias 2023–2025 (media $\pm$ DE; n = 5)	33
Tabla 7. Análisis de varianza bifactorial (ANOVA) para la intensidad colorante (IC)	34
Tabla 8. Requerimiento de Horas Hombre - Sistema MSS	38
Tabla 9. Requerimiento Horas Hombre - Sistema MTR	38
Tabla 10. Consumo energético estimado de las operaciones mecánicas en los sistemas de maceración evaluados	40

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Graduación alcohólica (% v/v) de los vinos elaborados mediante maceración tradicional (MTR) y maceración con sombrero sumergido (MSS) en las tres cosechas evaluadas	27
Figura 2. pH de los vinos elaborados mediante maceración tradicional (MTR) y maceración con sombrero sumergido (MSS) al finalizar la fermentación alcohólica en las tres cosechas evaluadas.	28
Figura 3. Acidez total de los vinos elaborados mediante maceración tradicional (MTR) y maceración con sombrero sumergido (MSS) al finalizar la fermentación alcohólica en las tres cosechas evaluadas.....	29
Figura 4. Acidez volátil de los vinos elaborados mediante maceración tradicional (MTR) y maceración con sombrero sumergido (MSS) al finalizar la fermentación alcohólica en las tres cosechas evaluadas.....	30
Figura 5. Comparación del IPT entre tratamientos (MTR y MSS) en las vendimias 2023–2025. Barras de error: $\pm$ DE (n = 5).....	31
Figura 6. Intensidad colorante (IC) en vinos Malbec elaborados mediante maceración tradicional (MTR) y maceración con sombrero sumergido (MSS) en las vendimias 2023–2025. Barras de error: $\pm$ DE (n = 5).	34

DECLARACIÓN

“Declaro que el material incluido en esta tesis es, a mi mejor saber y entender, original producto de mi propio trabajo (salvo en la medida en que se identifique explícitamente las contribuciones de otros), y que este material no lo he presentado, en forma parcial o total, como una tesis en esta u otra institución”



Firma

ABREVIATURAS

MSS: Maceración con sombrero sumergido

MTR: Maceración tradicional

IC: Intensidad colorante

IPT: Índice de polifenoles totales

FA: Fermentación alcohólica

N₂: Nitrógeno

g/L: gramos por litro

mg/L: miligramos por litro

% v/v: porcentaje volumen/volumen

°C: grados Celsius

CAPÍTULO I - INTRODUCCIÓN

1.1 Planteamiento del problema

La elaboración de vinos tintos de calidad depende en gran medida de la adecuada gestión del proceso de maceración fermentativa, etapa clave en la extracción de los compuestos fenólicos responsables del color, la estructura y parte del perfil sensorial del vino. En la vinificación tradicional, la fermentación alcohólica genera la formación del denominado “sombbrero”, constituido por los sólidos de la uva, el cual requiere ser manejado mediante operaciones como remontajes o bazuqueos para asegurar el contacto sólido-líquido.

Si bien esas prácticas han demostrado ser eficaces, implican una elevada carga operativa, consumo de energía y mano de obra, además de introducir variables en el proceso que puede afectar la consistencia del producto final. En contextos productivos de escala industrial, estas limitaciones adquieren mayor relevancia, ya que pequeñas ineficiencias pueden traducirse en impactos significativos tanto en la calidad del vino como en los costos operativos.

En este marco, surge la necesidad de evaluar alternativas tecnológicas que permitan optimizar el proceso de maceración, manteniendo o mejorando la calidad enológica del vino y reduciendo simultáneamente los requerimientos operativos. La técnica de maceración con sombrero sumergido se presenta como una opción potencial, basada en el mantenimiento permanente de la fase sólida en contacto con el mosto en fermentación, evitando la formación del sombrero flotante y reduciendo la necesidad de intervenciones mecánicas.

La presente tesis de intervención se desarrolla en Bodega Del Fin Del Mundo, ubicada en San Patricio del Chañar, provincia de Neuquén, en el contexto de la elaboración de vinos Malbec a escala industrial. En esta bodega, la maceración tradicional ha permitido obtener vinos de calidad satisfactoria, aunque presenta limitaciones asociadas a la demanda operativa, el consumo energético y la variabilidad entre lotes.

A partir de esta situación, se plantea como problema de estudio la necesidad de optimizar el proceso de maceración fermentativa en la elaboración de vino Malbec, evaluando alternativas que permitan mejorar la eficiencia operativa sin comprometer la calidad enológica y sensorial del producto.

1.2 Objetivos

El objetivo general del presente trabajo es implementar y validar la técnica de maceración con sombrero sumergido a escala industrial, evaluando su impacto sobre la calidad del vino Malbec y su desempeño operativo.

Como objetivos específicos se plantea: comparar la extracción polifenólica entre ambas técnicas mediante parámetros analíticos; evaluar los atributos sensoriales de los vinos obtenidos; analizar la eficiencia en el uso de mano de obra; y evaluar el consumo energético asociado a cada metodología.

1.3 Hipótesis

Se plantea como hipótesis principal que la técnica de maceración con sombrero sumergido mejora la eficiencia operativa del proceso de vinificación de Malbec sin afectar negativamente la calidad del vino obtenido.

Asimismo, se proponen las siguientes hipótesis secundarias:

- La maceración con sombrero sumergido incrementa la extracción fenólica respecto a la maceración tradicional.
- La maceración con sombrero sumergido reduce el consumo energético y las horas-hombre requeridas durante la maceración.
- La maceración con sombrero sumergido no genera diferencias sensoriales negativas perceptibles.

1.4 Alcance y limitaciones

El alcance del estudio se limita a la evaluación de la técnica de sombrero sumergido en la elaboración de vino Malbec en Bodega Del Fin Del Mundo, bajo condiciones productivas reales. Entre las principales limitaciones se considera la variabilidad de la materia prima entre vendimias y la especificidad del contexto de aplicación, lo que restringe la extrapolación directa de los resultados a otras variedades o regiones.

CAPÍTULO II - REVISIÓN DEL CONOCIMIENTO ACTUAL

2.1 Fundamentos de la maceración en vinos tintos

La maceración constituye una de las etapas más importantes en la elaboración de vinos tintos, ya que durante este proceso se produce el contacto entre la fracción sólida de la uva (hollejos y semillas) y el mosto en fermentación, permitiendo la transferencia de compuestos fenólicos y otras sustancias de interés enológico hacia la fase líquida (Ribéreau-Gayon et al., 2006).

A diferencia de la vinificación en blanco, donde el contacto sólido-líquido se reduce al mínimo, en los vinos tintos la maceración se desarrolla de manera controlada con el objetivo de favorecer la extracción de compuestos responsables del color, la estructura y parte de las características sensoriales del vino. En este sentido, la conducción de la maceración influye directamente sobre la composición fenólica y la calidad final del producto.

Durante la fermentación alcohólica, el dióxido de carbono generado provoca el ascenso de los sólidos hacia la superficie del mosto, originando la formación del denominado sombrero. Esta separación entre fases hace necesario aplicar distintas técnicas de manejo del sombrero para asegurar un contacto adecuado entre la fase líquida y la fracción sólida, favoreciendo la extracción homogénea de compuestos fenólicos.

La intensidad y modalidad de estas intervenciones condicionan la dinámica de extracción y el perfil fenólico del vino obtenido. Entre las principales variables que influyen sobre la maceración se encuentran el tiempo de contacto, la temperatura, el grado alcohólico y la frecuencia de renovación del líquido en contacto con los sólidos (Ribéreau-Gayon et al., 2006).

Desde el punto de vista enológico, la maceración no solo determina la cantidad de compuestos extraídos, sino también el equilibrio entre color, estructura y características sensoriales del vino. Por este motivo, el manejo del sombrero adquiere una relevancia estratégica, especialmente en elaboraciones de escala industrial donde la eficiencia operativa y la reproducibilidad del proceso resultan factores clave.

En este contexto, la evaluación de técnicas alternativas de manejo del sombrero, como la maceración con sombrero sumergido, adquiere particular interés tanto desde el

punto de vista enológico como operativo, constituyendo el eje central de la presente tesis de intervención.

2.2 Extracción de compuestos fenólicos

La extracción de compuestos fenólicos constituye uno de los procesos centrales de la vinificación en tinto, debido a que estos compuestos influyen directamente sobre el color, la estructura, la estabilidad y las características sensoriales del vino. Durante la maceración, los fenómenos de difusión y solubilización permiten la transferencia de estas sustancias desde los hollejos y semillas hacia la fase líquida en fermentación (Ribéreau-Gayon et al., 2006).

Entre los principales compuestos fenólicos presentes en los vinos tintos se destacan los antocianos y los taninos. Los antocianos son pigmentos localizados principalmente en las células del hollejo y representan los principales responsables del color rojo-violeta característico de los vinos tintos. Su extracción ocurre preferentemente durante las primeras etapas de la fermentación alcohólica, favorecida por el medio acuoso y el aumento progresivo de la permeabilidad celular asociado a la actividad fermentativa (Peynaud, 1984).

Los taninos, en cambio, se encuentran tanto en hollejos como en semillas y presentan una cinética de extracción más lenta. Estos compuestos desempeñan un rol fundamental en la estructura, el cuerpo y la astringencia del vino. Ribéreau-Gayon et al. (2006) señalan que los taninos de hollejo tienden a extraerse en las etapas iniciales y medias de la maceración, mientras que los taninos de semilla requieren condiciones más extractivas, particularmente asociadas al incremento progresivo del grado alcohólico.

El etanol generado durante la fermentación alcohólica actúa como un solvente que favorece la extracción de compuestos fenólicos menos polares, especialmente taninos. En consecuencia, la dinámica de extracción depende no solo del tiempo de contacto sólido-líquido, sino también de variables como la temperatura, el grado alcohólico y la modalidad de manejo del sombrero (Peynaud, 1984; Ribéreau-Gayon et al., 2006).

Desde el punto de vista enológico, la extracción fenólica no implica únicamente una mayor concentración de compuestos en el vino, sino también la definición de su equilibrio sensorial. Una extracción adecuada permite favorecer atributos vinculados al color, la estructura y la estabilidad, mientras que extracciones excesivas pueden

incrementar la presencia de taninos agresivos o desequilibrar el perfil organoléptico del vino.

En este contexto, la técnica de maceración utilizada adquiere una relevancia central, ya que condiciona la dinámica de extracción y el perfil fenólico final del vino. Por este motivo, el análisis de técnicas alternativas de manejo del sombrero resulta de interés para optimizar simultáneamente la calidad enológica y la eficiencia operativa del proceso de vinificación.

2.3 Variables que afectan la maceración

La maceración en vinos tintos es un proceso influenciado por múltiples variables físico-químicas y operativas que condicionan la extracción de compuestos fenólicos y, en consecuencia, las características finales del vino. Entre las variables más relevantes se encuentran la temperatura, el tiempo de contacto sólido-líquido, el grado alcohólico y el manejo del oxígeno durante la fermentación alcohólica (Ribéreau-Gayon et al., 2006).

La temperatura influye directamente sobre la velocidad de difusión y solubilización de los compuestos fenólicos. Temperaturas moderadas favorecen la extracción de antocianos y taninos, mientras que valores excesivos pueden promover extracciones poco selectivas y afectar la estabilidad del color (Ribéreau-Gayon et al., 2006).

El tiempo de maceración también desempeña un rol determinante, ya que períodos prolongados incrementan la extracción de compuestos de mayor peso molecular, especialmente taninos provenientes de las semillas. Sin embargo, una mayor duración del contacto sólido-líquido no siempre se traduce en mejoras proporcionales en la calidad del vino, debido a fenómenos de transformación y precipitación de compuestos fenólicos (Togores, 2011).

Por otra parte, el aumento progresivo del grado alcohólico durante la fermentación favorece la extracción de compuestos menos polares, particularmente taninos, modificando de manera continua las condiciones de extracción del sistema (Peynaud, 1984). Asimismo, el manejo del oxígeno durante la maceración puede influir tanto en la estabilidad del color como en la evolución fenólica del vino, dependiendo de la intensidad y frecuencia de las intervenciones realizadas sobre el sombrero.

En este contexto, la técnica de maceración empleada adquiere especial importancia, ya que condiciona simultáneamente la dinámica de extracción, la evolución fenólica y las condiciones operativas del proceso fermentativo.

2.4 Técnicas de maceración en vinificación en tinto

La vinificación en tinto comprende distintas técnicas de maceración orientadas a favorecer el contacto entre la fase sólida de la uva y el mosto en fermentación, con el objetivo de optimizar la extracción de compuestos fenólicos y otros constituyentes de interés enológico. Estas técnicas difieren principalmente en la forma e intensidad con que se maneja el sombrero durante la fermentación alcohólica, condicionando tanto la composición final del vino como los requerimientos operativos asociados al proceso (Ribéreau-Gayon et al., 2006).

2.4.1 Maceración tradicional

La maceración tradicional constituye el sistema más difundido en la elaboración de vinos tintos. Durante la fermentación alcohólica, el dióxido de carbono generado provoca el ascenso de los sólidos hacia la superficie del mosto, formando el denominado sombrero. Para mantener un contacto adecuado entre las fases sólida y líquida, se realizan distintas operaciones de manejo del sombrero, principalmente remontajes y bazuqueos.

Estas intervenciones permiten renovar el líquido en contacto con los sólidos y favorecer la extracción de compuestos fenólicos, aunque también implican un consumo energético significativo y una elevada dependencia de la mano de obra (Ribéreau-Gayon et al., 2006). La intensidad y frecuencia de estas operaciones pueden variar según los objetivos enológicos y las características de la fermentación.

2.4.2 Otras técnicas de maceración

Además de la maceración tradicional, existen otras técnicas orientadas a modificar la dinámica de extracción fenólica y el manejo operativo del proceso. Entre ellas se encuentran el delestaje, que consiste en el vaciado y retorno del mosto sobre el sombrero, y los sistemas de vinificación rotativa, que mantienen una mezcla continua entre sólidos y líquidos (Togores, 2011).

Asimismo, algunas estrategias incluyen maceraciones prefermentativas en frío o maceraciones prolongadas post-fermentativas, aplicadas con objetivos específicos relacionados con la extracción de color, estructura o complejidad sensorial.

Cada una de estas técnicas presenta ventajas y limitaciones en función del estilo de vino buscado, la infraestructura disponible y los requerimientos operativos de la bodega. En este contexto, la maceración con sombrero sumergido surge como una alternativa orientada a modificar el régimen de contacto sólido-líquido y optimizar simultáneamente aspectos enológicos y operativos del proceso fermentativo.

2.5 Técnica de maceración con sombrero sumergido

2.5.1 Principio de funcionamiento

La maceración con sombrero sumergido constituye una técnica alternativa de manejo del contacto sólido-líquido durante la vinificación en tinto. Su principio fundamental consiste en mantener la fracción sólida de la uva permanentemente sumergida en la fase líquida durante toda la fermentación alcohólica, evitando la formación del sombrero superficial característico de la maceración tradicional.

Para ello, se utiliza un dispositivo físico de retención, generalmente una rejilla o sistema de sujeción, que mantiene los hollejos y semillas por debajo del nivel del líquido fermentativo. De esta manera, el contacto entre las fases sólida y líquida se produce de forma continua y homogénea, reduciendo la necesidad de intervenciones mecánicas destinadas a humectar el sombrero, como remontajes o bazuqueos (Togores, 2011).

Desde el punto de vista operativo, esta técnica modifica la dinámica fermentativa respecto de la maceración tradicional, ya que el dióxido de carbono generado durante la fermentación se libera a través del líquido sin provocar la acumulación de sólidos en la superficie del tanque. Como consecuencia, se establece un régimen de contacto sólido-líquido más uniforme a lo largo de todo el proceso fermentativo.

En términos enológicos, la maceración con sombrero sumergido puede influir sobre la cinética de extracción de compuestos fenólicos, debido a la continuidad del contacto entre el mosto y la fracción sólida. Asimismo, la reducción de intervenciones mecánicas puede modificar aspectos vinculados al manejo del oxígeno, la demanda energética y la organización operativa del proceso.

En este contexto, la técnica de sombrero sumergido representa una alternativa de interés para evaluar simultáneamente variables relacionadas con la calidad del vino y la eficiencia operativa de la vinificación a escala industrial.

2.5.2 Potenciales implicancias enológicas y operativas

La técnica de maceración con sombrero sumergido modifica la dinámica de contacto entre la fase sólida y líquida durante la fermentación alcohólica, generando implicancias tanto enológicas como operativas respecto de los sistemas tradicionales de maceración.

Desde el punto de vista enológico, el contacto continuo y homogéneo entre los sólidos y el mosto podría favorecer una extracción fenólica más regular, reduciendo las diferencias de concentración asociadas a sectores insuficientemente irrigados del sombrero. Diversos autores señalan que sistemas con menor agresividad mecánica y contacto sostenido entre fases tienden a favorecer una extracción más equilibrada de antocianos y taninos de hollejo, limitando potencialmente la extracción excesiva de taninos de semilla asociados a perfiles sensoriales más agresivos (Casassa et al., 2013; Bindon et al., 2014).

Asimismo, la reducción de remontajes y otras intervenciones mecánicas puede modificar la dinámica de incorporación de oxígeno al medio fermentativo. En este sentido, una menor oxigenación asociada al manejo del sombrero podría contribuir a preservar compuestos fenólicos sensibles y favorecer una evolución más gradual de la fracción colorante (Gambutì et al., 2013).

Por otra parte, la distribución homogénea del medio fermentativo y el contacto permanente entre sólidos y líquido podrían influir sobre la estabilidad del color y el equilibrio fenólico del vino, favoreciendo perfiles sensoriales más integrados y una evolución más uniforme de la estructura tánica (Picariello et al., 2019).

Desde el punto de vista operativo, la técnica de sombrero sumergido presenta potenciales ventajas asociadas a la simplificación de las operaciones de maceración. La disminución de remontajes y bombeos durante la fermentación alcohólica puede traducirse en una reducción del consumo energético, una menor demanda de mano de obra y una disminución del desgaste mecánico de los equipos involucrados en el proceso (García-Martín et al., 2018).

Asimismo, la menor dependencia de intervenciones manuales podría contribuir a mejorar la reproducibilidad entre fermentaciones y facilitar la integración del proceso a sistemas de automatización y control operativo, particularmente en elaboraciones de escala industrial (Aleixandre-Tudo y Du Toit, 2018).

En conjunto, estos antecedentes sugieren que la maceración con sombrero sumergido representa una alternativa con potencial para optimizar simultáneamente aspectos vinculados a la calidad enológica y a la eficiencia operativa del proceso de vinificación, constituyendo el eje central de análisis de la presente tesis de intervención.

2.6 Antecedentes y estudios previos

Las técnicas de maceración en vinificación en tinto han sido ampliamente estudiadas debido a su influencia sobre la extracción fenólica, la estabilidad del color y las características sensoriales del vino. Los trabajos clásicos de Peynaud (1984) y Ribéreau-Gayon et al. (2006) establecieron las bases conceptuales relacionadas con la dinámica de extracción de compuestos fenólicos y el efecto de variables como la temperatura, el tiempo de contacto y el grado alcohólico durante la fermentación alcohólica.

Posteriormente, distintos autores profundizaron el estudio de la extracción diferencial de antocianos y taninos en función de las modalidades de maceración. Sacchi et al. (2005), Canals et al. (2008) y Bindon y Kennedy (2011) destacaron la importancia del contacto sólido-líquido y de la evolución del medio fermentativo sobre la composición fenólica y el perfil sensorial del vino.

En relación con técnicas de maceración alternativas, diversos estudios señalaron que sistemas caracterizados por un contacto continuo y homogéneo entre sólidos y líquidos podrían favorecer una extracción más equilibrada y una mejor integración sensorial. Casassa et al. (2013, 2016) y Gambuti et al. (2013, 2017) observaron que técnicas con menor agresividad mecánica tienden a favorecer perfiles fenólicos más estables y una evolución cromática más equilibrada. De manera complementaria, el trabajo de Picariello et al. (2019) destacó que regímenes de extracción más graduales pueden contribuir a obtener vinos con estructuras tánicas más armónicas.

En los últimos años, la literatura enológica también comenzó a incorporar el análisis de variables operativas y energéticas asociadas a los procesos de vinificación.

García-Martín et al. (2018) y Ferreira et al. (2015) señalaron que las operaciones de bombeo y manejo mecánico durante la fermentación representan una proporción importante del consumo energético en bodega. Asimismo, Aleixandre-Tudo y Du Toit (2018) destacaron que la simplificación de las operaciones de maceración favorece la automatización y la reproducibilidad de los procesos fermentativos.

A pesar de estos antecedentes, existe una limitada cantidad de estudios orientados específicamente a evaluar la técnica de maceración con sombrero sumergido en condiciones productivas reales a escala industrial, integrando simultáneamente parámetros de calidad enológica, eficiencia operativa y consumo energético.

Asimismo, la mayor parte de los antecedentes disponibles corresponden a regiones vitivinícolas tradicionales de Europa y Norteamérica, mientras que son escasos los estudios desarrollados en condiciones agroclimáticas propias de la Patagonia Argentina. En particular, no se identificaron antecedentes específicos sobre la aplicación de la técnica de sombrero sumergido en vinos Malbec elaborados en San Patricio del Chañar bajo condiciones industriales.

En este contexto, la presente tesis de intervención busca aportar información aplicada sobre el impacto de la maceración con sombrero sumergido en la calidad del vino y en la eficiencia operativa del proceso de vinificación de Malbec a escala industrial.

2.7 Evaluación sensorial y su relación con parámetros analíticos

La evaluación sensorial constituye una herramienta fundamental para la caracterización integral de los vinos, ya que permite complementar la información obtenida mediante análisis físico-químicos con la percepción organoléptica del producto final. En los vinos tintos, atributos como el color, la estructura y la astringencia están estrechamente relacionados con la composición fenólica del vino, aunque las diferencias analíticas no siempre se traducen de manera proporcional en diferencias sensoriales perceptibles (Ribéreau-Gayon et al., 2006).

En este contexto, las pruebas discriminativas representan una metodología ampliamente utilizada para determinar si existen diferencias sensoriales detectables entre muestras elaboradas mediante distintos tratamientos enológicos. Estas pruebas permiten establecer si las modificaciones introducidas en el proceso de elaboración generan

cambios perceptibles, sin requerir necesariamente la descripción específica de dichos atributos (Togores, 2011).

Diversos autores destacan que las pruebas discriminativas resultan especialmente útiles en estudios comparativos de técnicas de vinificación, ya que permiten evaluar el impacto sensorial de modificaciones operativas bajo condiciones controladas y con paneles entrenados (Lawless y Heymann, 2010).

Por otra parte, la interpretación conjunta de parámetros analíticos y sensoriales resulta esencial para evaluar de manera integral la calidad del vino. Estudios previos han demostrado que diferencias moderadas en indicadores fenólicos, como el índice de polifenoles totales o la intensidad colorante, pueden asociarse a variaciones perceptibles en estructura, equilibrio o astringencia, dependiendo de la naturaleza y evolución de los compuestos extraídos (Canals et al., 2008; Bindon y Kennedy, 2011).

En el marco de la presente tesis de intervención, la evaluación sensorial adquiere particular relevancia, ya que permite determinar si la aplicación de la técnica de maceración con sombrero sumergido genera diferencias sensoriales perceptibles respecto de la maceración tradicional, complementando la información obtenida mediante los análisis físico-químicos realizados.

CAPÍTULO III - MATERIALES Y MÉTODOS

El presente capítulo describe los materiales, las condiciones operativas y la metodología empleada para la implementación y evaluación de la técnica de maceración con sombrero sumergido en la elaboración de vino Malbec a escala industrial. El diseño metodológico adoptado responde al enfoque de una tesis de intervención, orientada a analizar el impacto de una modificación tecnológica concreta sobre la calidad enológica del producto y sobre variables operativas del proceso, bajo condiciones productivas reales.

La intervención se desarrolló en instalaciones de Bodega Del Fin Del Mundo, comparando la técnica de maceración con sombrero sumergido respecto de la maceración tradicional, utilizada habitualmente en la bodega, a fin de evaluar diferencias en parámetros analíticos, sensoriales y operativos.

3.1 Material vegetal

El material vegetal utilizado en la presente intervención corresponde a uvas de la variedad Malbec (*Vitis vinífera* L. cv. Malbec), provenientes de viñedos propios, ubicados en la localidad de San Patricio del Chañar, provincia de Neuquén, Patagonia Argentina.

Las uvas fueron cosechadas durante tres vendimias consecutivas correspondientes a los años 2023, 2024 y 2025, bajo condiciones de madurez tecnológica y fenológica consideradas adecuadas para la elaboración de vinos tintos de calidad. Previo a la cosecha se realizaron controles de madurez que incluyeron la determinación de sólidos solubles, acidez total, pH del mosto, con el objetivo de asegurar la homogeneidad de la materia prima destinada a ambas modalidades de maceración.

La cosecha se efectuó de manera manual, en bandejas de 18 kg, transportándose la uva en condiciones que permitieron preservar su integridad hasta el ingreso a la bodega. Una vez recepcionada, la uva fue sometida a operaciones de despallado, sin estrujado, obteniéndose un mosto-uva homogéneo que fue distribuido en dos tanques de acero inoxidable de techo móvil (Figura A2, Anexo 1) con una capacidad de 50 hl cada uno, para su correspondiente tratamiento de maceración.

Con el fin de minimizar la variabilidad asociada a la materia prima, se procuró que las uvas destinadas a la maceración tradicional y al sombrero sumergido provinieran

del mismo lote, identificado internamente como Ch 120 – Cdo 8, con características agronómicas uniformes comparables en términos de suelo, edad del viñedo, sistema de conducción y manejo cultural. El viñedo se encuentra geolocalizado en las coordenadas 38°35'48.9"S 68°16'33.0"W, y a una altitud de 347 m.s.n.m.

3.2 Diseño experimental y tratamientos

El diseño experimental de la presente tesis de intervención se estructuró bajo un esquema comparativo, con el objetivo de evaluar el impacto de la técnica de maceración con sombrero sumergido respecto de la maceración tradicional sobre la calidad enológica del vino Malbec y sobre variables operativas del proceso de elaboración, en condiciones productivas reales y escala industrial.

Para cada una de las vendimias consideradas (2023, 2024 y 2025), se elaboraron dos tratamientos en paralelo, diferenciados exclusivamente por la técnica de maceración aplicada, manteniéndose constantes el resto de las variables tecnológicas y operativas del proceso. De este modo, se buscó aislar el efecto de la modalidad de manejo del sombrero como única variable independiente del estudio.

Con el objetivo de asegurar que la técnica de maceración constituyera la única variable independiente del estudio, no se emplearon enzimas pectolíticas con acción extractiva en ninguno de los tratamientos. Asimismo, no se realizaron sangrías al momento del encubado, a pesar de tratarse de una práctica habitual en determinadas elaboraciones de la bodega. Esta decisión metodológica tuvo como finalidad evitar modificaciones en la relación sólido-líquido que pudieran influir en la cinética de extracción fenólica, con el propósito de reducir la influencia de otras variables sobre las diferencias observadas entre los sistemas de manejo del sombrero durante la maceración.

Los tratamientos evaluados fueron:

- **Tratamiento MTR** (Maceración tradicional): Elaboración conducida mediante el manejo convencional del sombrero flotante (Figura A6, Anexo 1), formado naturalmente como consecuencia de la liberación de dióxido de carbono durante la fermentación alcohólica.

El contacto sólido-líquido fue gestionado mediante operaciones de remontajes diarios, efectuados con una frecuencia de dos veces al día durante los primeros cinco días, y de un remontaje diario desde el día seis hasta el día diez. Cada

remontaje consistió en la extracción del mosto-vino desde la parte inferior del tanque y su posterior distribución sobre el sombrero, con una duración variable de 30 minutos durante el primer día, pasando a 15 minutos los remontajes desde el segundo al séptimo día, y de 6 minutos desde el día ocho hasta finalizar la maceración. Para esta operación se utilizó una bomba a rotor flexible con un caudal estimado de 60 hL/h.

Estas operaciones se realizaron con el objetivo de asegurar la humectación del sombrero, favorecer la homogeneización térmica del sistema y promover la extracción de compuestos fenólicos.

- **Tratamiento MSS (Maceración con Sombrero Sumergido):** La elaboración fue conducida mediante la técnica de sombrero sumergido, utilizando un sistema físico de retención que permitió mantener la totalidad de la fase sólida permanentemente sumergida en la fase líquida durante la fermentación alcohólica (Figura A3, Anexo 1). Luego del encubado, se realizó un trasiego inicial del mosto hacia un tanque auxiliar, manteniendo la fracción sólida en el tanque de fermentación. Posteriormente, se instaló el sistema de retención que incluyó una placa perforada (Figura A4, Anexo 1) que permite el pasaje del líquido mientras retiene los sólidos del sombrero y se reintrodujo el mosto, asegurando la completa inmersión de los sólidos (Figura A5, Anexo 1).

En este tratamiento no se realizaron remontajes destinados a la humectación del sombrero. La homogeneización del sistema se llevó a cabo mediante la aplicación de pulsos de gas nitrógeno (Figura A2, Anexo 1), con una frecuencia de dos pulsos diarios durante los primeros cinco días y de un pulso diario desde el día seis hasta el día diez. El tiempo de los pulsos se ajustó en función del avance fermentativo, comenzando con pulsos de dos minutos el primer día de maceración, pasando a un minuto desde el día dos al día siete, y finalizando con pulsos de treinta segundos desde el día ocho hasta el descube el día diez, generando en todos los casos una movilización suave del medio líquido.

Las intervenciones mecánicas se limitaron a aquellas necesarias para el control del proceso fermentativo, incluyendo medición diaria de temperatura y densidad, correcciones térmicas cuando fue necesario y seguimiento general de la evolución fermentativa, sin aplicación de operaciones extractivas adicionales.

Cada tratamiento se llevó a cabo en tanques de acero inoxidable (Figura A1, Anexo I) de idénticas características geométricas y capacidad nominal (50 hl), con el fin de minimizar posibles efectos asociados al recipiente de la fermentación. La asignación de los tratamientos a los tanques se realizó de manera consistente en cada vendimia, procurando mantener condiciones comparables de carga, llenado y el control térmico.

El mosto-uva utilizado en ambos tratamientos fue obtenido del mismo lote de uva y distribuido de manera homogénea entre los tanques mediante el encubado alternado con cubones de acero inoxidable de aproximadamente 350 kg de uva cada uno, cargando sucesivamente un cubón en cada tanque hasta completar el volumen total de trabajo. Este procedimiento permitió minimizar posibles diferencias en la composición inicial entre tratamientos, asegurando una composición inicial equivalente en términos de sólidos solubles, pH y acidez total.

Asimismo, en ambos tratamientos se aplicaron las mismas prácticas enológicas de base, incluyendo adición de anhídrido sulfuroso, inoculación con levaduras seleccionadas, y control de temperaturas de fermentación de acuerdo con el protocolo descrito en el apartado 3.3.

La fermentación alcohólica se condujo hasta el agotamiento de los azúcares fermentables, definiéndose el momento de descube en función de criterios enológicos equivalentes para ambos tratamientos, tales como densidad final y evolución sensorial del vino en fermentación. Una vez finalizada la maceración, los vinos fueron trasegados y sometidos a las mismas operaciones posteriores, a fin de asegurar condiciones comparables para la evaluación de los parámetros analíticos, sensoriales y operativos.

Este diseño experimental permitió comparar de manera directa el desempeño de ambas técnicas de maceración, y evaluar su incidencia sobre la extracción y evolución de los compuestos fenólicos, los atributos sensoriales del vino Malbec obtenido y las variables operativas asociadas al proceso de elaboración.

Con el objetivo de sintetizar de manera integral las etapas del proceso de vinificación correspondientes a ambos tratamientos evaluados, se presenta un esquema general del proceso en la Figura A7 del Anexo 1, donde se detallan las principales operaciones unitarias involucradas en cada metodología.

3.3 Condiciones de fermentación y manejo del proceso

La fermentación alcohólica de los tratamientos evaluados se condujo bajo condiciones controladas y comparables, con el objetivo de minimizar la influencia de variables ajenas a la técnica de maceración sobre los resultados obtenidos. De este modo, se procuró que las diferencias observadas entre los vinos elaborados mediante maceración tradicional y sombrero sumergido pudieran atribuirse principalmente a la modalidad de manejo del contacto sólido-líquido.

En ambos tratamientos, el encubado se realizó inmediatamente después de las operaciones de despallado (sin estrujado), aplicándose una dosis inicial de anhídrido sulfuroso equivalente, de 50 mg/L de SO₂ total, acorde a la práctica habitual de la bodega. La fermentación alcohólica fue conducida mediante la inoculación de levaduras seleccionadas, utilizándose la misma cepa de *Saccharomyces cerevisiae* comercial (Viniflora Merit) en ambos tratamientos, con el fin de evitar variación asociada al metabolismo fermentativo.

La temperatura de fermentación fue controlada mediante el sistema de refrigeración de los tanques, manteniéndose dentro de un rango similar para ambos tratamientos. El control térmico se efectuó de manera continua, registrándose que inicialmente se situaron entre los 18 y 22 °C y luego durante la fermentación alcohólica el rango se estableció entre los 22 y 26 °C. Este control permitió asegurar condiciones fermentativas comparables y evitar efectos térmicos diferenciales sobre la cinética de extracción fenólica.

El seguimiento de la fermentación alcohólica consistió en realizar controles diarios de densidad y temperatura. La densidad fue determinada utilizando un densímetro y la temperatura mediante la utilización de un termómetro de alcohol, ambos sobre muestras representativas del mosto en fermentación.

Las mediciones se realizaron con una frecuencia de una vez al día, en horario consistente a lo largo del proceso, con el objetivo de monitorear la evolución fermentativa y detectar posibles desvíos.

La fermentación alcohólica se consideró finalizada una vez alcanzado el agotamiento de los azúcares fermentables, definido por la determinación de azúcares reductores a través del método de Fehling-Causse-Bonnans realizado en el laboratorio de análisis físico-químico de la bodega.

3.4 Descripción operativa de los tratamientos

La descripción operativa de los tratamientos evaluados se elaboró a partir de las prácticas efectivamente implementadas durante el proceso de elaboración desarrollado en bodega, en continuidad con procedimientos técnicos previamente validados por el equipo de trabajo. El objetivo de este apartado es detallar, de manera sistemática, la secuencia de operaciones realizadas en cada modalidad de maceración, a fin de identificar diferencias en la organización del proceso, la complejidad operativa y la demanda de recursos asociada a cada tratamiento.

3.4.1 Operaciones comunes previas al encubado

En ambos tratamientos, las operaciones iniciales se realizaron de manera equivalente. La uva recepcionada fue sometida a una selección de racimos mediante cinta transportadora y posteriormente despallada, sin estrujado. A continuación, el mosto-uva fue trasladado y conducido por gravedad, utilizando cubones de acero inoxidable (Figura A1, Anexo I), hacia los tanques de fermentación correspondientes. El encubado se efectuó asegurando una distribución homogénea del mosto-uva en cada recipiente, alternando la descarga de un cubón en cada tanque, hasta alcanzar el nivel operativo de fermentación, correspondiente al 80% de la capacidad nominal de cada tanque (aproximadamente 40 hl), con el fin de mantener condiciones volumétricas equivalentes en ambos sistemas.

Previo al inicio de la fermentación alcohólica, se realizaron las correcciones tecnológicas habituales, consistentes en la adición de anhídrido sulfuroso en una dosis de 50 mg/L y, cuando fue necesario, ajuste de acidez. Estas operaciones se aplicaron de manera equivalente en ambos tratamientos, con el fin de asegurar condiciones comparables desde el inicio del proceso.

3.4.2 Tratamiento MSS: maceración con sombrero sumergido

En el tratamiento de maceración con sombrero sumergido, la secuencia operativa se inició con una operación de trasiego inicial del mosto a un tanque auxiliar, operación comparable a un delestage, permitiendo liberar gran parte del volumen del tanque de fermentación, manteniendo la fracción sólida en su interior. Posteriormente, se procedió a la instalación del sistema físico de retención del sombrero, diseñado para mantener la fracción sólida permanentemente sumergida durante la maceración y fermentación alcohólica.

Una vez instalado el sistema de retención, el mosto fue retornado al tanque de fermentación, cubriendo completamente la masa sólida y asegurando el contacto continuo entre la fase sólida y líquida. A partir de este momento, la fermentación alcohólica se desarrolló sin formación de un sombrero emergente y sin necesidad de realizar remontajes destinados a la humectación del sombrero.

Durante la fermentación alcohólica, la homogeneización del sistema se llevó a cabo mediante la aplicación de pulsos de nitrógeno, de acuerdo con la frecuencia y duración definidas para este tratamiento.

Cada aplicación consistió en impulsos de corta duración (≤ 2 minutos), generando una movilización controlada del líquido sin alterar la estructura del sistema ni introducir una extracción mecánica intensiva comparable a la generada por los remontajes.

Este procedimiento permitió mantener condiciones adecuadas de contacto sólido-líquido durante la maceración, asegurando la renovación del medio extractivo y contribuyendo a la eficiencia del proceso sin incrementar la demanda operativa ni el consumo energético.

Finalizada la fermentación alcohólica y alcanzados los criterios definidos para el descube, se procedió al vaciado del tanque mediante el trasiego del vino. Posteriormente, se retiró el sistema de retención del sombrero y se efectuó la extracción de los orujos, continuándose luego con las operaciones habituales de prensado y trasiego.

3.4.3 Tratamiento MTR: maceración tradicional

En el tratamiento de maceración tradicional, la fermentación se desarrolló con formación natural del sombrero flotante como consecuencia de la liberación de dióxido de carbono.

El contacto sólido-líquido fue gestionado mediante operaciones de remontajes realizadas de manera sistemática durante la fermentación alcohólica, con una frecuencia de dos remontajes diarios durante los primeros cinco días y de un remontaje diario desde el día seis hasta el día diez de maceración.

Cada remontaje consistió en la extracción del mosto-vino desde la parte inferior del tanque y su redistribución sobre la superficie del sombrero. La duración de las operaciones se ajustó de manera independiente de la frecuencia, siendo de aproximadamente 30 minutos durante el primer día, 15 minutos desde el día dos al día

siete, y 6 minutos desde el día ocho hasta finalizar la maceración. Estas operaciones permitieron la humectación del sombrero y la renovación del líquido en contacto con la fase sólida.

Además de los remontajes, el tratamiento MTR incluyó las tareas habituales de control fermentativo, tales como la medición diaria de densidad y temperatura, y el ajuste del control térmico del proceso.

Finalizada la fermentación alcohólica y alcanzados los criterios definidos para el descube, se procedió a la separación del vino y los orujos, continuándose luego con las operaciones de extracción de orujo, prensado y trasiego bajo condiciones equivalentes a las del tratamiento MSS.

3.4.4 Síntesis comparativa de la organización operativa

Desde el punto de vista operativo, ambos tratamientos compartieron las etapas iniciales y finales del proceso de elaboración, diferenciándose fundamentalmente en la modalidad de gestión del contacto sólido-líquido durante la fermentación alcohólica.

Mientras que el tratamiento de maceración tradicional requirió intervenciones mecánicas sistemáticas para el manejo del sombrero, con la consecuente demanda de equipos, energía y supervisión del personal, el tratamiento con sombrero sumergido permitió una organización del proceso más simplificada, basada en un contacto sólido-líquido continuo y con pulsos breves de homogeneización.

Estas diferencias en la secuencia y complejidad de las operaciones constituyen un aspecto central de la presente tesis de intervención, en tanto permiten evaluar el impacto de la técnica de sombrero sumergido no solo sobre la calidad enológica del vino Malbec obtenido, sino también sobre la eficiencia operativa del proceso de elaboración.

3.5 Variables analíticas y sensoriales evaluadas

Con el objetivo de evaluar el impacto de la técnica de maceración con sombrero sumergido sobre la calidad enológica del vino Malbec y de comparar su desempeño respecto de la maceración tradicional, se definió un conjunto de variables analíticas y sensoriales a ser determinadas en los vinos obtenidos en ambos tratamientos. La selección de dichas variables respondió a su relevancia para la caracterización de la composición fenólica, el color y los atributos sensoriales del vino, así como a su utilización habitual en la evaluación de vinos tintos a escala industrial.

Las determinaciones analíticas y sensoriales se realizaron bajo condiciones equivalentes para ambos tratamientos, empleando metodologías estandarizadas y con el fin de asegurar la comparabilidad de los resultados obtenidos.

3.5.1 Variables Analíticas

Las variables analíticas evaluadas incluyeron parámetros fisicoquímicos generales y parámetros específicos vinculados a la composición fenólica y al color del vino. Entre las determinaciones realizadas se consideraron:

- **Graduación alcohólica**, expresada en porcentaje en volumen (% v/v).
- **pH y acidez total**, expresada en gramos de ácido tartárico por litro (g/L).
- **Acidez volátil**, expresada en gramos de ácido acético por litro (g/L), como indicador del desarrollo fermentativo y del estado sanitario del vino.
- **Índice de polifenoles totales (IPT)**, determinado mediante la medición de la absorbancia a 280 nm en el espectro ultravioleta, como indicador global de la carga fenólica del vino.
- **Intensidad colorante (IC)**, calculada a partir de las absorbancias a 420 nm, 520 nm y 620 nm en el espectro visible, como indicador de la intensidad del color del vino.

Estas determinaciones permitieron caracterizar de manera objetiva las diferencias en la composición química de los vinos elaborados mediante ambas técnicas de maceración y sirvieron como base para el análisis comparativo posterior.

3.5.2 Evaluación sensorial

La evaluación sensorial se realizó con el objetivo de determinar la existencia de diferencias perceptibles entre los vinos obtenidos mediante maceración tradicional y maceración con sombrero sumergido, y conocer además la preferencia global de los evaluadores frente a los tratamientos comparados. Las pruebas sensoriales se llevaron a cabo bajo condiciones controladas, utilizando un panel interno de dieciséis (16) jueces entrenados.

Con el fin de detectar diferencias sensoriales entre los vinos, se aplicó una prueba discriminativa dúo-trío, metodología ampliamente utilizada en evaluación sensorial de vinos para determinar la percepción de diferencias globales entre muestras (Catania & Avagnina, 2010). Esta prueba permitió establecer si las modificaciones operativas

asociadas a la técnica de maceración aplicada generaron vinos sensorialmente distinguibles por los evaluadores.

Adicionalmente, se realizaron pruebas de preferencia, en las cuales se solicitó a los jueces indicar cuál de los vinos evaluados resultaba más agradable desde una apreciación global. Este enfoque permitió complementar la información obtenida a partir de las pruebas discriminativas, incorporando un criterio de aceptación sensorial relevante desde el punto de vista enológico y productivo.

No se realizaron pruebas sensoriales descriptivas cuantitativas, dado que el objetivo del presente estudio no fue la caracterización detallada del perfil organoléptico de los vinos, sino la evaluación de la existencia de diferencias perceptibles y de la preferencia global entre los tratamientos evaluados. Los resultados de la evaluación sensorial fueron posteriormente analizados en conjunto con los parámetros analíticos determinados, a fin de interpretar de manera integrada el impacto de la técnica de maceración sobre la calidad sensorial del vino.

3.6 Análisis de variables operativas y energéticas

Con el fin de evaluar el impacto de la técnica de maceración con sombrero sumergido sobre la eficiencia operativa del proceso de elaboración, se definió un conjunto de variables operativas y energéticas orientadas a cuantificar las diferencias en la organización del trabajo, la utilización de equipos y el consumo de recursos asociados a cada tratamiento. Este análisis se integró al enfoque de la tesis de intervención, considerando condiciones productivas reales y prácticas habituales de bodega.

Las variables operativas y energéticas fueron relevadas durante el desarrollo de las vinificaciones correspondientes a cada tratamiento, procurando mantener criterios de registro homogéneos que permitieran la comparación directa entre la maceración tradicional y la maceración con sombrero sumergido.

3.6.1 Variables operativas

Las variables operativas consideradas incluyeron aquellas vinculadas a la cantidad y complejidad de las tareas realizadas durante la fermentación alcohólica y la maceración, así como a la intervención del personal en cada tratamiento. Entre las variables analizadas se contemplaron:

- **Número de operaciones mecánicas** asociadas al manejo del contacto sólido líquido durante la fermentación alcohólica (por ejemplo, remontajes u otras intervenciones equivalentes).
- **Tiempo de dedicación del personal** requerido para la ejecución y supervisión de dichas operaciones, expresado en horas-hombre.
- **Grado de intervención manual** necesario durante el proceso fermentativo, considerando la frecuencia de acciones directas sobre el sistema.
- **Complejidad operativa del proceso**, evaluada de manera cualitativa en función del número de etapas, la necesidad de coordinación de tareas y la dependencia del uso de equipamiento auxiliar.

El relevamiento de estas variables permitió caracterizar la carga operativa asociada a cada modalidad de maceración y establecer comparaciones en términos de organización del trabajo y demanda de recursos humanos.

3.6.2 Variables energéticas

El análisis energético se orientó a identificar las diferencias en el consumo de energía derivadas del uso de equipos y operaciones mecánicas durante la fermentación alcohólica y la maceración. En particular, se consideraron las siguientes variables:

- **Uso de equipos de bombeo**, asociado a las operaciones de remontajes u otras maniobras de trasiego durante el proceso.
- **Tiempo de funcionamiento de los equipos eléctricos**, vinculado a las operaciones específicas de cada tratamiento.
- **Consumo energético estimado**, expresado en kilovatios hora (kWh), calculado a partir de la potencia nominal de los equipos y el tiempo efectivo de operación.

Las estimaciones de consumo energético se realizaron bajo supuestos equivalentes para ambos tratamientos, considerando la misma potencia nominal de los equipos utilizados, criterios de cálculo uniformes y condiciones de operación comparables. Para la estimación se empleó información técnica de los equipos y registros operativos de bodega, con el objetivo de asegurar la comparabilidad de los valores obtenidos.

3.6.3 Criterios de comparación

Las variables operativas y energéticas relevadas fueron analizadas de manera comparativa entre los tratamientos, considerando como eje central la identificación de posibles reducciones en la carga de trabajo y en el consumo de energía asociada a la técnica de maceración con sombrero sumergido. Este análisis permitió evaluar si la simplificación operativa observada en el manejo del proceso se tradujo en mejoras cuantificables en términos de eficiencia, sin comprometer la calidad enológica del vino elaborado.

Los resultados obtenidos a partir de este análisis se presentan y discuten en el capítulo correspondiente, integrándose con los parámetros analíticos y sensoriales determinados para una evaluación global del impacto de la técnica de maceración aplicada.

3.7 Análisis estadístico

Con el objetivo de comparar el comportamiento de los vinos elaborados mediante ambos sistemas de maceración en relación con las variables directamente vinculadas a la extracción fenólica y a la calidad cromática, los datos correspondientes al índice de polifenoles totales (IPT) e intensidad colorante fueron sometidos a análisis estadístico.

Se aplicó un análisis de varianza bifactorial (ANOVA), considerando como factores el tratamiento de maceración (maceración tradicional y sombrero sumergido) y la cosecha, adoptando un nivel de significancia de $\alpha = 0,05$. Para cada combinación tratamiento-cosecha se utilizaron cinco determinaciones analíticas, correspondientes a réplicas de medición realizadas sobre cada vino elaborado.

Los resultados se expresaron como media $\pm$ desvío estándar para cada combinación tratamiento-cosecha.

Dado que las réplicas consideradas corresponden a determinaciones analíticas y no a unidades experimentales independientes, los resultados del análisis estadístico deben interpretarse con cautela, como indicadores del comportamiento de los vinos en las condiciones evaluadas. En consecuencia, el análisis estadístico se utilizó con carácter exploratorio y descriptivo de la variabilidad analítica observada, sin atribuir a sus resultados una capacidad inferencial equivalente a la de un diseño con unidades experimentales replicadas.

En los casos en que se observaron diferencias estadísticamente significativas considerando la variabilidad analítica de las determinaciones realizadas, se aplicó el test de comparaciones múltiples de Tukey ($p < 0,05$), con el fin de identificar diferencias específicas entre tratamientos y cosechas.

3.8 Determinaciones espectrofotométricas del color y del índice de polifenoles totales

La caracterización del color y del contenido fenólico total en vinos elaborados se realizó mediante determinaciones espectrofotométricas basadas en la ley de Beer-Lambert, según la cual la absorbancia de una solución es proporcional a la concentración de las especies absorbentes, siempre que se mantengan constantes la longitud de onda, el espesor óptico de la cubeta y las condiciones de medición.

Las muestras destinadas a la evaluación cromática fueron previamente filtradas por 0,45 micrones y analizadas sin dilución, utilizando cubetas de cuarzo de 1 mm de paso óptico. Dado que los índices colorimétricos enológicos se expresan convencionalmente referidos a 10 mm de camino óptico, las absorbancias obtenidas fueron corregidas mediante un factor de conversión de 10.

La **intensidad colorante (IC)** se determinó de acuerdo con el método de Glories (1984), a partir de las absorbancias medidas a 420, 520 y 620 nm, longitudes de onda asociadas, respectivamente, a las componentes amarilla, roja y azul del color del vino. La expresión utilizada fue la siguiente:

$$IC = (A_{420} + A_{520} + A_{620}) \times 10$$

Donde $A_{420} + A_{520} + A_{620}$ corresponden a las absorbancias registradas en la cubeta de 1 mm de paso óptico. El factor 10 permite expresar el resultado en equivalencia con una cubeta de 10 mm.

El **índice de polifenoles totales (IPT)** se determinó mediante la medición de la absorbancia a 280 nm en el espectro ultravioleta, utilizando cubetas de cuarzo de 10 mm de paso óptico. Para ello, cada muestra fue previamente diluida en proporción 1:100, y el resultado se expresó multiplicando la absorbancia registrada por el factor de dilución correspondiente:

$$IPT = A_{280} \times 100$$

Este procedimiento se corresponde con la metodología espectrofotométrica internacionalmente adoptada para la estimación global de la carga fenólica de vinos y mostos.

En conjunto, estas determinaciones permitieron evaluar de manera objetiva el efecto de las distintas técnicas de maceración sobre la extracción de compuestos fenólicos vinculados con el color y la estructura de los vinos.

Cabe aclarar que, si bien en el ámbito analítico nacional es frecuente la utilización del índice de color propuesto por el Instituto Nacional de Vitivinicultura (INV) con fines reglamentarios, en el presente trabajo se emplearon parámetros espectrofotométricos clásicos de uso enológico (intensidad colorante e IPT), por considerarse más directamente vinculados con la evaluación de la extracción fenólica y expresión cromática del vino.

CAPÍTULO IV - RESULTADOS

4.1 Resultados analíticos

En el presente apartado se exponen los resultados analíticos obtenidos para los vinos elaborados mediante maceración tradicional (MTR) y maceración con sombrero sumergido (MSS) a lo largo de tres cosechas consecutivas. Las determinaciones realizadas incluyeron graduación alcohólica, pH, acidez total, acidez volátil, índice de polifenoles totales (IPT), e intensidad colorante, parámetros considerados representativos de la composición fisicoquímica y fenólica del vino.

Los resultados se presentan de manera comparativa entre tratamientos para cada cosecha, con el objetivo de identificar regularidades y diferencias consistentes en el comportamiento analítico de los vinos, manteniendo condiciones de análisis equivalentes.

4.1.1 Graduación Alcohólica

La graduación alcohólica de los vinos obtenidos mediante ambos tratamientos se determinó al finalizar la fermentación alcohólica para las tres cosechas evaluadas. En la Tabla 1 se presentan los valores correspondientes a cada tratamiento y cosecha.

Tabla 1. Graduación alcohólica (% v/v) de los vinos elaborados mediante maceración tradicional (MTR) y maceración con sombrero sumergido (MSS) en las tres cosechas evaluadas

Cosecha	Tratamiento	Graduación alcohólica (% v/v)
2023	MTR	14,40
	MSS	14,50
2024	MTR	14,00
	MSS	14,10
2025	MTR	13,90
	MSS	14,00

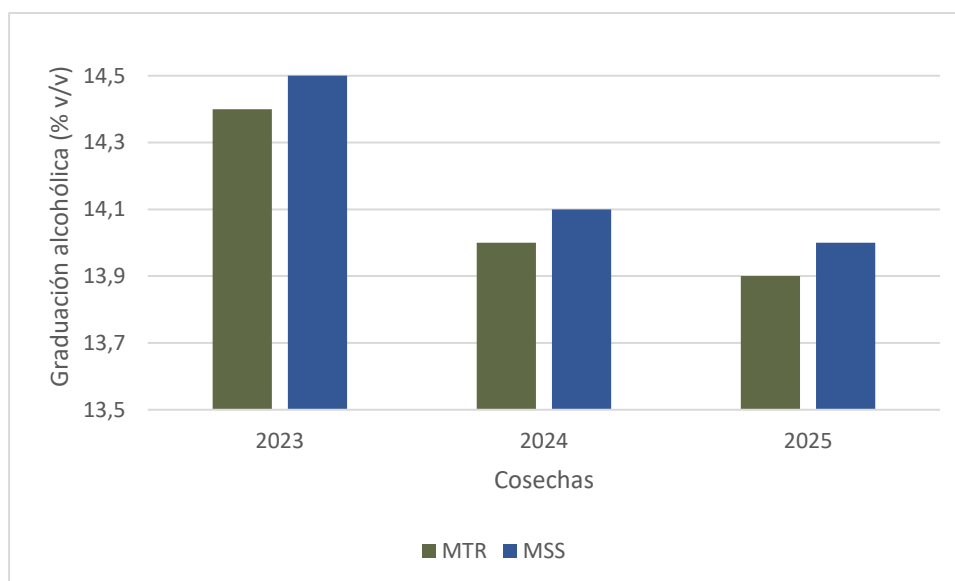


Figura 1. Graduación alcohólica (% v/v) de los vinos elaborados mediante maceración tradicional (MTR) y maceración con sombrero sumergido (MSS) en las tres cosechas evaluadas

En la Figura 1 se presenta la comparación de la graduación alcohólica de los vinos elaborados mediante maceración tradicional y maceración con sombrero sumergido para las tres cosechas evaluadas. Los valores obtenidos permiten visualizar las diferencias registradas entre tratamientos dentro de cada cosecha, así como la variabilidad observada entre los distintos ciclos productivos.

4.1.2 pH y acidez total

El pH y la acidez total de los vinos elaborados mediante maceración tradicional y maceración con sombrero sumergido se determinaron al finalizar la fermentación alcohólica para las tres cosechas evaluadas. Estos parámetros fueron considerados indicadores relevantes del equilibrio ácido del vino y de las condiciones químicas resultantes del proceso fermentativo. En la Tabla 2 se presentan los valores obtenidos para ambos parámetros, correspondiente a cada tratamiento y cosecha.

Tabla 2. pH y acidez total de los vinos elaborados mediante maceración tradicional (MTR) y maceración con sombrero sumergido (MSS) al finalizar la fermentación alcohólica en las tres cosechas evaluadas.

Cosecha	Tratamiento	pH	Acidez total (g/L ácido tartárico)
2023	MTR	3,73	6,00
	MSS	3,70	6,10
2024	MTR	3,49	6,90
	MSS	3,53	6,90
2025	MTR	3,65	6,20
	MSS	3,67	6,30

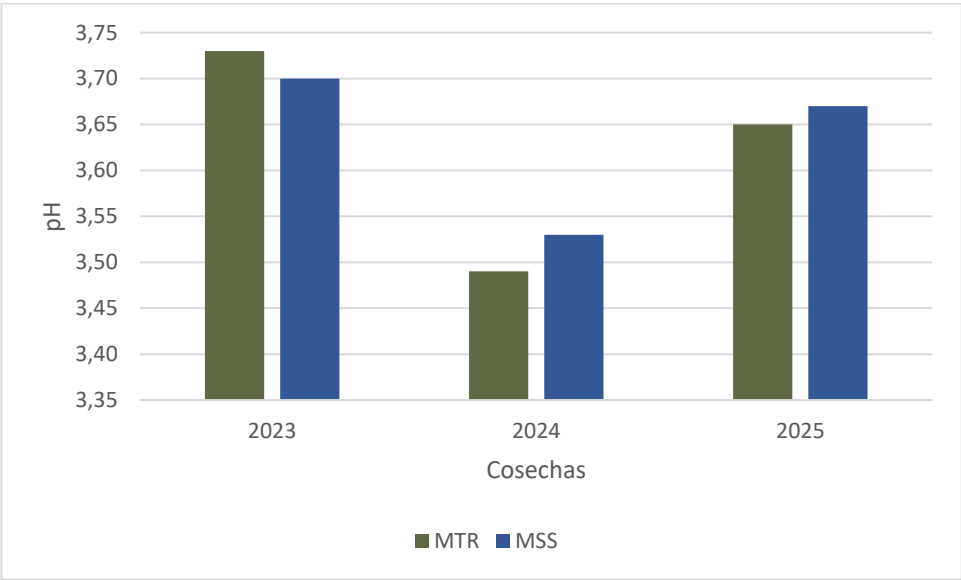


Figura 2. pH de los vinos elaborados mediante maceración tradicional (MTR) y maceración con sombrero sumergido (MSS) al finalizar la fermentación alcohólica en las tres cosechas evaluadas.

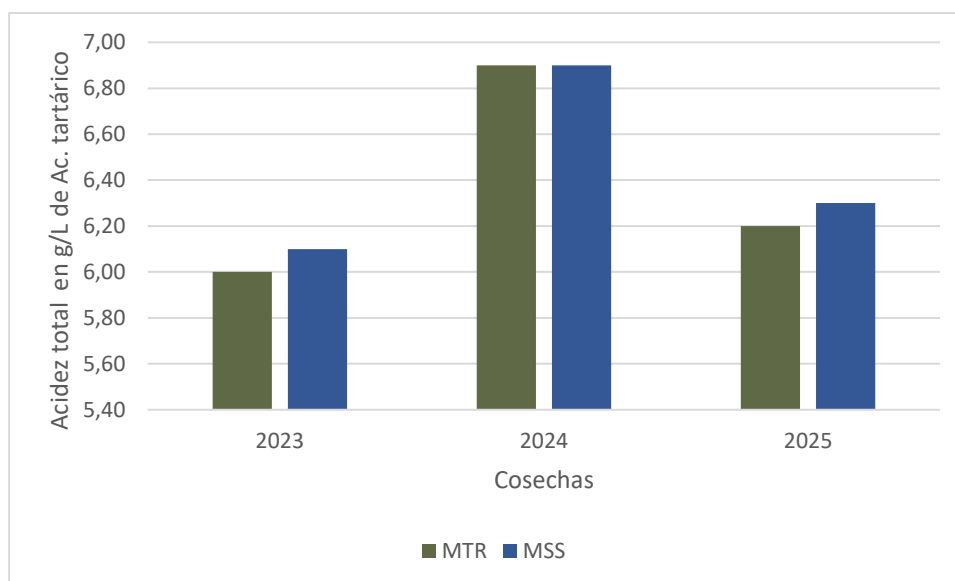


Figura 3. Acidez total de los vinos elaborados mediante maceración tradicional (MTR) y maceración con sombrero sumergido (MSS) al finalizar la fermentación alcohólica en las tres cosechas evaluadas

4.1.3 Acidez volátil

La acidez volátil de los vinos elaborados mediante maceración tradicional y maceración con sombrero sumergido se determinó al finalizar la fermentación alcohólica para las tres cosechas evaluadas. Este parámetro fue considerado relevante como indicador del comportamiento fermentativo y del control microbiológico durante el proceso, en condiciones operativas comparables entre tratamientos. En la Tabla 3 se presentan los valores obtenidos para cada tratamiento y cosecha.

Tabla 3. Acidez volátil de los vinos elaborados mediante maceración tradicional (MTR) y maceración con sombrero sumergido (MSS) al finalizar la fermentación alcohólica en las tres cosechas evaluadas.

Cosecha	Tratamiento	Acidez volátil (g/L ácido acético)
2023	MTR	0,58
	MSS	0,42
2024	MTR	0,55
	MSS	0,38
2025	MTR	0,65
	MSS	0,43

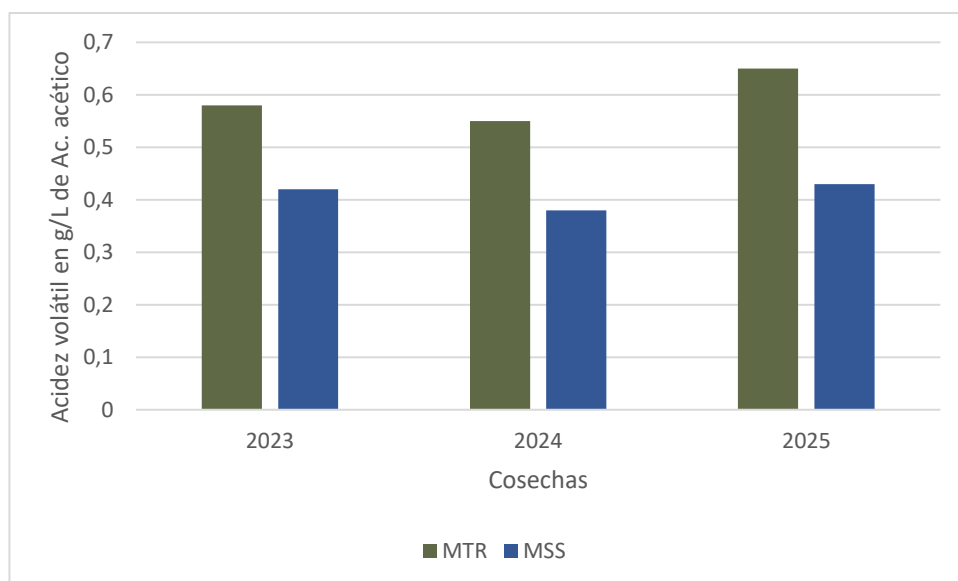


Figura 4. Acidez volátil de los vinos elaborados mediante maceración tradicional (MTR) y maceración con sombrero sumergido (MSS) al finalizar la fermentación alcohólica en las tres cosechas evaluadas.

En la Figura 4 se presentan los valores de acidez volátil determinados al finalizar la fermentación alcohólica para los vinos elaborados mediante maceración tradicional y maceración con sombrero sumergido en las tres cosechas evaluadas. Los resultados permiten visualizar el comportamiento de ambos tratamientos en relación con este parámetro. Se observa que, en las tres cosechas evaluadas, los vinos elaborados mediante maceración con sombrero sumergido (MSS) presentan valores de acidez volátil ligeramente inferiores que los elaborados con maceración tradicional (MTR), manteniéndose en todos los casos dentro de los rangos enológicos óptimos. No obstante, bajo las condiciones de este estudio, ambos sistemas mostraron una estabilidad microbiológica adecuada sin desviaciones críticas que comprometan la calidad del producto final.

4.1.4 Índice de Polifenoles Totales (IPT)

El Índice de Polifenoles Totales (IPT) fue determinado al finalizar la fermentación alcohólica, previo al inicio de la fermentación maloláctica, con el objetivo de evaluar el efecto de la técnica de maceración sobre la extracción fenólica en condiciones comparables entre tratamientos.

Los valores medios obtenidos para cada tratamiento y vendimia se presentan en la Tabla 4.

Tabla 4. Índice de Polifenoles Totales (IPT) en vinos Malbec elaborados mediante maceración tradicional (MTR) y maceración con sombrero sumergido (MSS) en las vendimias 2023–2025 (media $\pm$ DE; n = 5)

Cosecha	Tratamiento	n	Media IPT	Desvío estándar
2023	MTR	5	43,59	0,95
	MSS	5	45,12	0,92
2024	MTR	5	47,37	0,85
	MSS	5	50,50	0,98
2025	MTR	5	40,77	1,00
	MSS	5	41,97	0,38

Se observa que en las tres vendimias analizadas (2023, 2024 y 2025), el tratamiento de maceración con sombrero sumergido (MSS) presentó valores promedio de IPT superiores respecto al tratamiento de maceración tradicional (MTR).

Las diferencias entre tratamientos fueron consistentes en todas las cosechas, aunque con distinta magnitud, observándose el mayor incremento en la vendimia 2024, seguido por 2023, mientras que en 2025 la diferencia fue menor.

La representación gráfica de los resultados, incluyendo los desvíos estándar correspondientes (n = 5), se presenta en la Figura 5.

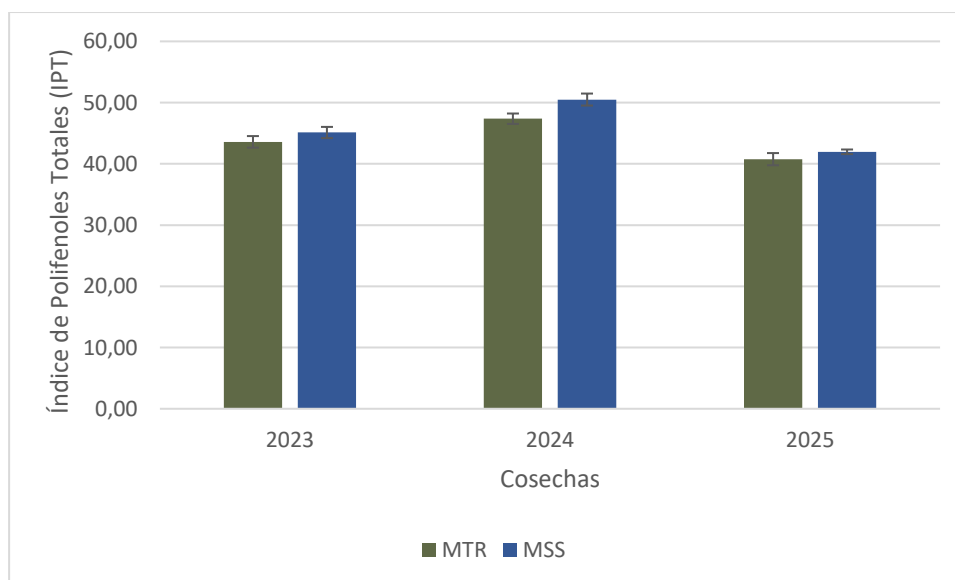


Figura 5. Comparación del IPT entre tratamientos (MTR y MSS) en las vendimias 2023–2025. Barras de error: $\pm$ DE (n = 5).

Con el fin de determinar la significancia estadística de las diferencias observadas, se realizó un análisis de varianza bifactorial (Tratamiento x Cosecha) con replicación ($n = 5$ por combinación), adoptando un nivel de significancia de $\alpha = 0,05$.

Los resultados del análisis de varianza se presentan en la tabla 5

Tabla 5. Análisis de varianza bifactorial (ANOVA) para el Índice de Polifenoles Totales (IPT)

FUENTE DE VARIACIÓN	GL	SC	F	P-VALOR
AÑO	2	290,76	191,95	<0,0001
TRATAMIENTO	1	28,54	37,68	<0,0001
AÑO × TRATAMIENTO	2	5,3	3,5	0,0465
ERROR	24	18,18		

El análisis de varianza mostró diferencias estadísticamente significativas asociadas a la cosecha para el IPT ($p < 0,001$), así como diferencias estadísticamente significativas asociadas al tratamiento de maceración ($p < 0,001$), considerando la variabilidad analítica de las determinaciones realizadas.

Asimismo, se observó una interacción significativa entre tratamiento y cosecha ($p = 0,0465$), lo que sugiere que la diferencia observada entre los sistemas de maceración no fue uniforme entre vendimias.

La presencia de esta interacción indica que la respuesta del índice de polifenoles totales estuvo condicionada por las características propias de cada año, en las condiciones evaluadas.

En términos generales, se observó que los vinos elaborados mediante maceración con sombrero sumergido (MSS) presentaron valores promedio de IPT superiores a los correspondientes a la maceración tradicional (MTR); no obstante, la magnitud de esta diferencia varió entre vendimias.

El análisis de comparaciones múltiples mediante el test de Tukey permitió identificar diferencias específicas entre las combinaciones tratamiento-cosecha, considerando la variabilidad analítica de las mediciones realizadas. En particular, se observó que el mayor valor de IPT correspondió al vino elaborado mediante MSS en la vendimia 2024, diferenciándose del resto de las combinaciones evaluadas. En esta

vendimia, la diferencia entre MSS y MTR fue más marcada, mientras que en las vendimias 2023 y 2025 las diferencias entre tratamientos fueron menores.

4.1.5 Intensidad colorante (IC)

La intensidad colorante (IC) de los vinos elaborados mediante maceración tradicional (MTR) y maceración con sombrero sumergido (MSS) fue determinada al finalizar la fermentación alcohólica, previo al inicio de la fermentación maloláctica, con el objetivo de evaluar el efecto de la técnica de maceración sobre la intensidad del color en condiciones comparables entre tratamientos.

Los valores medidos obtenidos para cada tratamiento y vendimia se presentan en la Tabla 6.

Tabla 6. Intensidad colorante (IC) en vinos Malbec elaborados mediante maceración tradicional (MTR) y maceración con sombrero sumergido (MSS) en las vendimias 2023–2025 (media $\pm$ DE; n = 5)

Cosecha	Tratamiento	n	Media IC	Desvío Estándar
2023	MTR	5	13,99	0,40
	MSS	5	15,57	0,42
2024	MTR	5	15,52	0,36
	MSS	5	16,84	0,43
2025	MTR	5	13,14	0,29
	MSS	5	14,36	0,43

Se observa que en las tres vendimias analizadas (2023, 2024 y 2025), el tratamiento de maceración con sombrero sumergido (MSS) presentó valores promedio de intensidad colorante superiores respecto al tratamiento de maceración tradicional (MTR).

Las diferencias entre tratamientos fueron consistentes en todas las cosechas, observándose incrementos marcados en la intensidad colorante, con magnitudes similares entre vendimias.

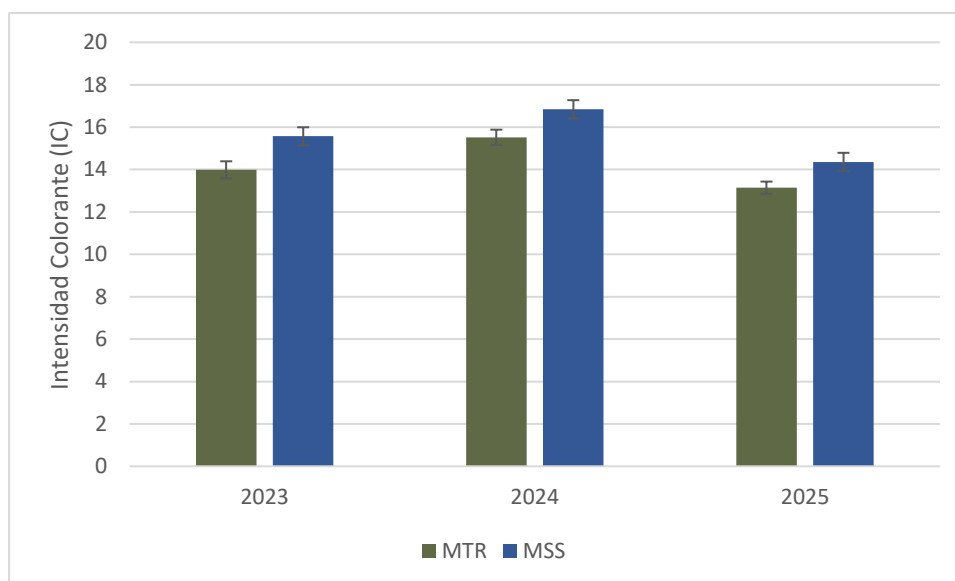


Figura 6. Intensidad colorante (IC) en vinos Malbec elaborados mediante maceración tradicional (MTR) y maceración con sombrero sumergido (MSS) en las vendimias 2023–2025. Barras de error: $\pm$ DE ($n = 5$).

Con el fin de evaluar la significancia estadística de las diferencias observadas, se realizó un análisis de varianza bifactorial (tratamiento x cosecha) con replicación ($n = 5$ por combinación), adoptando un nivel de significancia $\alpha = 0,05$.

Los resultados del análisis de varianza se presentan en la tabla 7.

Tabla 7. Análisis de varianza bifactorial (ANOVA) para la intensidad colorante (IC)

FUENTE DE VARIACIÓN	GL	SC	F	P-VALOR
AÑO	2	29,73	96,34	<0,0001
TRATAMIENTO	1	14,11	91,41	<0,0001
AÑO × TRATAMIENTO	2	0,17	0,54	0,5874
ERROR	24	3,7		

El análisis de varianza mostró diferencias estadísticamente significativas asociadas a la cosecha para la intensidad colorante ($p < 0,001$), así como diferencias estadísticamente significativas asociadas al tratamiento de maceración ($p < 0,001$), considerando la variabilidad analítica de las determinaciones realizadas.

No se observó interacción significativa entre tratamiento y cosecha ($p = 0,5874$), lo que indica que la diferencia observada entre los sistemas de maceración presentó un comportamiento similar entre las distintas vendimias evaluadas.

En términos generales, los resultados obtenidos indican que, en las condiciones evaluadas, los vinos elaborados mediante maceración con sombrero sumergido (MSS) presentaron valores superiores de intensidad colorante respecto de los vinos elaborados mediante maceración tradicional (MTR). La ausencia de interacción significativa entre tratamiento y cosecha sugiere que esta tendencia se mantuvo con un comportamiento homogéneo entre las distintas vendimias evaluadas.

El análisis de comparaciones múltiples mediante el test de Tukey permitió identificar diferencias específicas entre las combinaciones tratamiento-cosecha, considerando la variabilidad analítica de las mediciones realizadas. En este análisis, los vinos elaborados mediante MSS presentaron valores de intensidad colorante superiores a los correspondientes a MTR en todas las vendimias evaluadas. Asimismo, se observó que la vendimia 2024 presentó los valores más elevados, seguida por 2023 y 2025.

4.2 Resultados sensoriales

Con el objetivo de evaluar la existencia de diferencias perceptibles entre los vinos elaborados mediante maceración tradicional (MTR) y maceración con sombrero sumergido (MSS), así como de analizar la preferencia global de los evaluadores, se realizaron pruebas sensoriales discriminativas y de preferencia en las tres vendimias estudiadas.

Las evaluaciones discriminativas se llevaron a cabo mediante una prueba dúo-trío, utilizando un panel conformado por dieciséis (16) jueces entrenados. Esta metodología permitió determinar si los vinos obtenidos mediante ambos sistemas de maceración resultaban sensorialmente distinguibles bajo condiciones controladas.

La significancia estadística de la prueba dúo-trío se determinó mediante la tabla crítica correspondiente al modelo binomial para una probabilidad de acierto por azar de $p = 0,5$ y un nivel de significancia de $\alpha = 0,05$, considerando un total de 16 respuestas por vendimia. Para este tamaño de muestra, el número mínimo de aciertos requeridos para establecer diferencias significativas fue de 12 respuestas correctas.

En la vendimia 2023 se registraron 10 aciertos sobre 16 respuestas, mientras que en la vendimia 2024 se obtuvieron 9 aciertos sobre 16. En ambos casos, estos valores no alcanzaron el umbral mínimo requerido para establecer diferencias significativas (12

aciertos), por lo que no se detectaron diferencias sensoriales estadísticamente significativas entre los tratamientos.

En la vendimia 2025 se registraron 11 aciertos sobre 16 respuestas. Si bien este resultado mostró una mayor proporción de identificaciones correctas respecto de las vendimias anteriores, tampoco alcanzó el valor crítico establecido para $\alpha = 0,05$, por lo que no puede afirmarse la existencia de diferencias sensoriales significativas entre los sistemas de maceración evaluados.

En conjunto, los resultados de la prueba dúo-trío indican que, bajo las condiciones del presente estudio, no se detectaron diferencias sensoriales significativas entre vinos elaborados mediante maceración tradicional y maceración con sombrero sumergido en ninguna de las vendimias analizadas.

La ausencia de diferenciación significativa sugiere que las posibles variaciones entre tratamientos no fueron suficientemente intensas como para ser detectadas de manera consistente por el panel en condiciones controladas. En este sentido, cualquier diferencia observada en términos de preferencia debe interpretarse como una apreciación global y no necesariamente como evidencia de una diferenciación sensorial estructural entre los vinos evaluados.

Complementariamente, se realizaron pruebas de preferencia con el mismo panel de evaluadores, con el fin de identificar posibles diferencias en la aceptación global de los vinos elaborados mediante ambas técnicas de maceración.

En la vendimia 2023, la mayoría de los evaluadores manifestó preferencia por el vino elaborado mediante maceración tradicional (11 sobre 16 respuestas), mientras que en la vendimia 2024 no se observó una preferencia definida registrándose una distribución equitativa entre ambos tratamientos (8 respuestas para cada uno). En la vendimia 2025 se registró una mayor proporción de preferencias hacia el tratamiento de maceración con sombrero sumergido (13 sobre 16 respuestas).

Estos resultados indican que, si bien no se detectaron diferencias sensoriales significativas mediante la prueba discriminativa, la preferencia de los evaluadores no fue uniforme entre vendimias. En consecuencia, no se puede establecer una conclusión general sobre superioridad sensorial de un sistema respecto del otro.

En términos globales, los resultados sensoriales obtenidos sugieren que la implementación del sistema de sombrero sumergido no generó diferencias sensoriales negativas detectables en las condiciones evaluadas.

4.3 Resultados operativos

En el caso del tratamiento MSS, la homogeneización del medio durante la fermentación se realizó mediante impulsos controlados de nitrógeno, en reemplazo de los remontajes mecánicos empleados en el tratamiento MTR. Esta diferencia operativa constituye un aspecto central en la comparación entre ambos sistemas, en tanto impacta directamente sobre la organización del trabajo, la duración de las intervenciones y el uso de recursos durante la maceración.

El análisis de variables operativas permitió cuantificar la carga de trabajo asociada a cada sistema de maceración evaluado, considerando el conjunto de intervenciones mecánicas y tareas auxiliares requeridas durante la fermentación alcohólica y las etapas posteriores de vinificación.

A partir del relevamiento sistemático de las operaciones realizadas en cada tratamiento, se calcularon las horas-hombre requeridas para las vasijas utilizadas durante los ensayos de vinificación, bajo condiciones industriales reales y criterios de registro homogéneos para ambas modalidades de maceración.

Los resultados obtenidos evidencian diferencias relevantes en la organización del trabajo entre la maceración tradicional (MTR) y la maceración con sombrero sumergido (MSS), particularmente en lo referido al tipo y la duración de las intervenciones requeridas, así como al tiempo total de dedicación del personal..

En las tablas 8 y 9 se presenta el detalle de las horas-hombre requeridas para cada sistema de maceración, discriminadas por operación y considerando las vinificaciones correspondientes a las vasijas utilizadas durante los ensayos de vinificación. Los valores incluyen tanto el tiempo efectivo de funcionamiento de los equipos como las tareas auxiliares asociadas (armado, limpieza, supervisión y operaciones complementarias).

Tabla 8. Requerimiento de Horas Hombre - Sistema MSS

Fase de Operación	Tarea / Operación	Personal	Horas	Total HH
I. Inicio	Recepción, molienda y encubado	4	2,0	8,0
	Limpieza de operaciones iniciales	2	1,0	2,0
II. Maceración	Limpieza de tanque temporal (Pre-post)	1	1,0	1,0
	Delestage y retorno de líquido	1	1,0	1,0
	Colocación de soporte	2	0,25	0,5
	Maceración (Impulsos de Nitrógeno)	1	0,5	0,5
III. Finalización	Desvine y Descube	1	2,5	2,5
	Prensado de orujo y limpieza	1	1,2	1,2
	Limpieza final de operaciones	1	1,0	1,0
TOTAL				17,70

Tabla 9. Requerimiento Horas Hombre - Sistema MTR

Fase de Operación	Tarea / Operación	Personal	Horas	Total HH
I. Inicio	Recepción, molienda y encubado	4	2,0	8,0
	Limpieza de operaciones iniciales	2	1,0	2,0
II. Maceración	Maceración (15 remontajes)	1	3,8	3,8
	Armado, limpieza y orden de operación	1	5,0	5,0
III. Finalización	Desvine y Descube	1	2,5	2,5
	Prensado de orujo y limpieza	1	1,2	1,2
	Limpieza final de operaciones	1	1,0	1,0
TOTAL				23,5

Los resultados muestran que el sistema de maceración con sombrero sumergido (MSS) requirió un total de 17,7 horas-hombre por vasija, mientras que la maceración tradicional (MTR) demandó 23,5 horas-hombre bajo condiciones operativas equivalentes.

Esta diferencia representa una reducción de 5,8 horas-hombre por unidad de vinificación, equivalente a una disminución aproximada del 24,7 % en la demanda operativa total del proceso.

La mayor demanda de trabajo observada en el sistema de maceración tradicional se vinculó principalmente con las intervenciones mecánicas necesarias para el manejo del sombrero flotante, incluyendo la preparación de los equipos, la ejecución de los remontajes y las tareas posteriores de limpieza y orden de los materiales utilizados.

En contraste, el sistema de maceración con sombrero sumergido concentró parte de sus requerimientos operativos al comienzo de la fase de maceración, particularmente en la instalación del sistema de retención del sombrero y en el trasiego y retorno del líquido al tanque de fermentación. Durante la maceración, los pulsos de nitrógeno mantuvieron una frecuencia de intervención equivalente a la de los remontajes, pero requirieron tiempos de ejecución considerablemente menores y redujeron las tareas auxiliares de armado, limpieza y manipulación de equipos.

Estos resultados evidencian que la técnica de sombrero sumergido permitió simplificar la organización operativa del proceso de vinificación y disminuir la carga de trabajo asociada al manejo del sombrero durante la fermentación alcohólica.

Los valores obtenidos corresponden a registros operativos realizados en condiciones industriales reales, por lo que deben interpretarse como representativos del contexto evaluado y no como estimaciones generalizables a todas las configuraciones de bodega.

4.4 Resultados energéticos

Con el objetivo de evaluar el impacto energético asociado a cada sistema de maceración, se estimó el consumo eléctrico total de las principales operaciones mecánicas involucradas en el proceso de vinificación.

El cálculo energético se realizó a partir del tiempo efectivo de funcionamiento de los equipos utilizados en cada etapa del proceso y de su potencia nominal, considerando las condiciones operativas registradas durante los ensayos de vinificación realizados a escala industrial.

Se incluyeron las operaciones de recepción, molienda, encubado, manejo de maceración, desvine, descube y prensado, permitiendo comparar el consumo energético total requerido por cada sistema de maceración.

Tabla 10. Consumo energético estimado de las operaciones mecánicas en los sistemas de maceración evaluados

Maceración	Descripción	Maquinaria	Potencia nominal (kW)	Consumo energético estimado (kWh)	
				MSS	MTR
MSS y MTR	Recepción	Cinta elevadora	0,75	1,50	1,50
MSS y MTR	Molienda	Despalilladora	2,40	4,80	4,80
MSS y MTR	Encubado	Bomba Moyno	7,50	3,75	3,75
MSS	Delestage	Bomba a rotor Flex	1,50	0,57	
MTR	Remontajes	Bomba a rotor Flex	1,50		5,70
MSS	Retorno del líquido	Bomba a rotor Flex	1,50	0,57	
MSS y MTR	Desvine	Bomba a rotor Flex	1,50	0,70	0,70
MSS y MTR	Descube	Cinta elevadora	0,75	0,38	0,38
MSS y MTR	Prensado	Prensa Neumática	6,60	2,18	2,18
Consumo total de "Sombrero Sumergido" y "Maceración Tradicional"				14,45	19,01

Los resultados muestran que el sistema de maceración tradicional (MTR) presentó un consumo energético total estimado de 19,005 kWh, mientras que el sistema de maceración con sombrero sumergido (MSS) registró un consumo de 14,445 kWh bajo las condiciones operativas registradas durante los ensayos de vinificación.

Esta diferencia representa una reducción de 4,56 kWh por proceso de vinificación, equivalente a una disminución aproximada del 24 % en el consumo energético total asociado a las operaciones mecánicas del proceso.

La mayor demanda energética observada en el sistema de maceración tradicional se vincula principalmente con la realización de remontajes periódicos durante la maceración, los cuales implican un mayor tiempo de funcionamiento de la bomba utilizada para el manejo del mosto-vino. En contraste, el sistema de maceración con sombrero sumergido concentra el uso de la bomba en las operaciones iniciales de delestage y retorno del líquido necesarias para la instalación del dispositivo de retención

del sombrero, reduciendo el tiempo de operación de los equipos durante la fermentación alcohólica.

CAPÍTULO V - CONCLUSIÓN INTEGRADORA

5.1 Síntesis de los resultados

Los resultados obtenidos en la presente tesis de intervención permiten analizar de manera integrada el comportamiento de la técnica de maceración con sombrero sumergido (MSS) en comparación con la maceración tradicional (MTR), considerando parámetros analíticos, sensoriales y operativos bajo condiciones productivas reales y a escala industrial, en el contexto específico de las vinificaciones evaluadas.

Desde el punto de vista analítico, los vinos elaborados mediante el sistema de MSS presentaron en las tres vendimias evaluadas valores superiores de índice de polifenoles totales (IPT) respecto a los vinos elaborados mediante maceración tradicional. Si bien la magnitud de esta diferencia varió entre cosechas, las diferencias observadas entre tratamientos resultaron estadísticamente significativas considerando la variabilidad analítica de las determinaciones realizadas. Asimismo, la interacción tratamiento-cosecha sugiere que la respuesta fenólica estuvo condicionada por las características propias de cada vendimia.

En relación con la intensidad colorante, los vinos elaborados mediante MSS también presentaron valores superiores en comparación con MTR en todas las cosechas analizadas. A diferencia de lo observado para el IPT, en este caso no se detectó interacción significativa entre tratamiento y cosecha, lo que resulta consistente con una tendencia repetida hacia mayores valores de intensidad colorante en los vinos elaborados mediante MSS bajo las condiciones evaluadas.

Los parámetros fisicoquímicos generales, tales como graduación alcohólica, pH y acidez total, no presentaron diferencias relevantes entre tratamientos, lo que indica que las condiciones fermentativas se mantuvieron comparables y que la técnica de maceración no generó desviaciones en estos indicadores. Asimismo, los valores de acidez volátil se mantuvieron dentro de rangos enológicos adecuados en ambos sistemas, observándose valores ligeramente inferiores en los vinos elaborados mediante MSS.

Desde el punto de vista sensorial, los resultados de las pruebas discriminativas indicaron que no se detectaron diferencias estadísticamente significativas entre los vinos elaborados mediante ambos sistemas de maceración en ninguna de las vendimias evaluadas. Este resultado sugiere que las diferencias analíticas observadas no se

tradujeron en variaciones sensoriales perceptibles por el panel en las condiciones del estudio.

En cuanto a la preferencia sensorial, no se observó una tendencia consistente entre vendimias, registrándose variabilidad en las elecciones de los evaluadores. Este comportamiento refuerza la ausencia de una superioridad sensorial clara de uno de los sistemas sobre el otro, en términos de aceptación global.

Desde la perspectiva operativa, el sistema de MSS mostró una reducción relevante en la carga de trabajo asociada al proceso de vinificación, con una disminución aproximada del 24,7 % en las horas-hombre requeridas por vasija en comparación con el sistema MTR. Esta reducción se vinculó principalmente con la sustitución de los remontajes por pulsos breves de nitrógeno y con la disminución de las tareas auxiliares de armado, limpieza y manipulación de equipos durante la maceración.

En términos energéticos, el sistema de MSS también presentó un menor consumo de energía asociado a las operaciones mecánicas, con una reducción aproximada del 24 % respecto al sistema tradicional. Esta diferencia se explica fundamentalmente por la menor utilización de equipos de bombeo durante la etapa de maceración.

En conjunto, los resultados obtenidos indican que, en las condiciones evaluadas, la técnica de maceración con sombrero sumergido se asoció con mayores valores de IPT e intensidad colorante, así como con una simplificación de la organización operativa del proceso, sin generar diferencias sensoriales detectables adicionales en los vinos elaborados.

5.2 Conclusión integradora

Los resultados obtenidos en la presente tesis de intervención permiten considerar que la técnica de maceración con sombrero sumergido (MSS), aplicada bajo condiciones industriales de elaboración de vinos Malbec, constituye una alternativa técnicamente viable para optimizar aspectos operativos del proceso de vinificación y, al mismo tiempo, sostener parámetros enológicos adecuados en los vinos obtenidos.

Desde el punto de vista enológico, los vinos elaborados mediante MSS mostraron consistentemente mayores valores de IPT e intensidad colorante respecto de los vinos elaborados mediante maceración tradicional, lo que sugiere una posible mejora de la extracción fenólica bajo las condiciones evaluadas. Estos resultados resultan compatibles

con los fundamentos teóricos asociados a la continuidad del contacto sólido-líquido y a la mayor homogeneidad del medio fermentativo durante la maceración.

No obstante, debido a que cada combinación tratamiento-vendimia estuvo representada por una única unidad de vinificación, las diferencias observadas entre tratamientos deben interpretarse como tendencias bajo las condiciones evaluadas. Las réplicas utilizadas para el análisis estadístico corresponden a determinaciones analíticas y no a unidades experimentales independientes, por lo que las inferencias estadísticas deben considerarse exploratorias y no demostrativas de una superioridad general del sistema MSS sobre el sistema MTR.

Asimismo, las diferencias analíticas observadas no se tradujeron en modificaciones sensoriales negativas detectables en los vinos elaborados mediante MSS, lo que sugiere que los mayores valores de IPT e intensidad colorante registrados no estuvieron asociados, en las condiciones del estudio, a desequilibrios organolépticos perceptibles por el panel.

Desde una perspectiva operativa, la técnica de sombrero sumergido permitió simplificar el manejo fermentativo mediante la reducción de intervenciones mecánicas asociadas al manejo del sombrero. Esta condición se reflejó en una disminución relevante de las horas-hombre requeridas y del consumo energético vinculado a las operaciones de bombeo, lo que resulta consistente con el potencial del sistema para mejorar la eficiencia global del proceso de vinificación.

En conjunto, los resultados obtenidos permiten considerar a la maceración con sombrero sumergido como una herramienta con potencial de aplicación en esquemas de vinificación industrial orientados a optimizar la relación entre calidad enológica, eficiencia operativa y utilización de recursos energéticos.

Asimismo, el trabajo aporta información aplicada obtenida bajo condiciones productivas reales para la vinificación de Malbec en la región de San Patricio del Chañar, contribuyendo al conocimiento técnico sobre alternativas de manejo fermentativo en contextos industriales de la vitivinicultura patagónica.

Como proyección futura, se considera de interés profundizar el estudio de la técnica de sombrero sumergido en vasijas de mayor capacidad, particularmente en tanques cerrados de aproximadamente 30.000 litros, con geometrías distintas a las utilizadas en el presente trabajo. Esta evaluación permitiría analizar el comportamiento

de la técnica a escalas industriales superiores y en sistemas con menor superficie de contacto entre el mosto y el oxígeno atmosférico.

Asimismo, surge como una posible línea de investigación la utilización de aire alimenticio filtrado para la realización de los pulsos de homogeneización entre las fases sólida y líquida, en reemplazo parcial o total del nitrógeno. Esta alternativa podría aportar oxígeno al medio fermentativo, contribuyendo al desarrollo de la fermentación alcohólica en sistemas cerrados donde no se realizan remontajes tradicionales.

Finalmente, futuras investigaciones podrían orientarse al desarrollo de sistemas automatizados para el control y aplicación de los pulsos de homogeneización y oxigenación, con el objetivo de optimizar aún más la operación, reducir la intervención manual y favorecer la escalabilidad industrial de la técnica.

5.3 Limitaciones del estudio

Los resultados obtenidos en la presente tesis deben interpretarse en el contexto específico de las condiciones experimentales y productivas evaluadas. El estudio se desarrolló sobre uvas de la variedad Malbec y bajo las condiciones operativas de una bodega en particular, lo que puede limitar la extrapolación directa de los resultados a otras variedades, regiones o configuraciones de vinificación.

Asimismo, las conclusiones se basan en la comparación de dos sistemas de maceración bajo un esquema de vinificación definido. En este sentido, la respuesta del sistema de MSS podría variar en función de modificaciones en variables operativas tales como el método de homogeneización del medio, la geometría del tanque de fermentación, la frecuencia de aplicaciones de la homogeneización y el tipo de gas utilizado en los pulsos.

Adicionalmente, factores propios de la materia prima, como el estado sanitario de la uva, el grado de madurez y la composición fenólica inicial, así como condiciones de proceso como la temperatura de fermentación y la duración de la maceración, podrían influir en la magnitud de las diferencias observadas.

Dado que cada combinación tratamiento-vendimia estuvo representada por una única unidad de vinificación, las diferencias observadas entre tratamientos deben interpretarse como tendencias bajo las condiciones evaluadas. Las réplicas utilizadas para el análisis estadístico corresponden a determinaciones analíticas y no a unidades

experimentales independientes, por lo que las inferencias estadísticas deben considerarse de carácter exploratorio. En este sentido, el análisis de varianza permitió evaluar la variabilidad analítica de las determinaciones realizadas y aportar consistencia a la comparación entre tratamientos, pero no demostrar en sentido estricto un efecto causal del sistema de maceración sobre las variables estudiadas.

No obstante, los resultados obtenidos aportan información relevante sobre el comportamiento del sistema de maceración con sombrero sumergido en las condiciones evaluadas y permiten considerarlo como una alternativa técnica de interés para su análisis y eventual aplicación en contextos productivos similares.

BIBLIOGRAFÍA

- Aleixandre-Tudó, J. L., & Du Toit, W. (2018). The role of oxygen in wine production: A review. *South African Journal of Enology and Viticulture*, 39(1), 1–14.
- Bindon, K. A., & Kennedy, J. A. (2011). Ripening-induced changes in grape skin proanthocyanidins modify their interaction with cell walls. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 59(6), 2696–2707.
- Bindon, K. A., Holt, H., Williamson, P. O., Varela, C., Herderich, M., & Francis, I. L. (2014). Relationships between harvest time and wine composition in *Vitis vinifera* L. cv. Cabernet Sauvignon 1. Grape and wine chemistry. *American Journal of Enology and Viticulture*, 65(3), 362–373.
- Canals, R., Llaudy, M. C., Valls, J., Canals, J. M., & Zamora, F. (2008). Influence of ethanol concentration on the extraction of color and phenolic compounds from the skin and seeds of grapes. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 56(23), 11841–11848.
- Casassa, L. F., Beaver, C. W., Mireles, M. S., Larsen, R. C., Hopfer, H., Heymann, H., Ebeler, S. E., & Harbertson, J. F. (2013). Effect of extended maceration and cap management on the chemical composition and sensory properties of Cabernet Sauvignon wines. *Food Chemistry*, 136(3–4), 1178–1188.
- Casassa, L. F., Sari, S., Bolcato, E. A., & Fanzone, M. L. (2016). Impact of extended maceration and regulated deficit irrigation on phenolic composition of Malbec wines. *American Journal of Enology and Viticulture*, 67(4), 447–456.
- Catania, C., & Avagnina, S. (2010). *La interpretación sensorial del vino*. Ediciones INTA.
- Ferreira, V., López, R., & Escudero, A. (2015). The chemistry of aroma in wine: A review. *Food Chemistry*, 180, 1–14.
- Gambutì, A., Picariello, L., Rinaldi, A., & Moio, L. (2013). Evolution of phenolic compounds and astringency during red wine fermentation. *Food Chemistry*, 140(4), 688–694.
- Gambutì, A., Picariello, L., & Moio, L. (2017). Evolution of phenolic compounds during vinification. *Food Chemistry*, 237, 116–123.

- García-Martín, N., Pérez-Magariño, S., Ortega-Heras, M., & González-Huerta, C. (2018). Energy consumption and environmental impact in winemaking. *Journal of Cleaner Production*, 172, 278–285.
- Glories, Y. (1984). La couleur des vins rouges. *Connaissance de la Vigne et du Vin*, 18(4), 253–271.
- Lawless, H. T., & Heymann, H. (2010). *Sensory evaluation of food: Principles and practices* (2nd ed.). Springer.
- Peynaud, E. (1984). *Knowing and making wine*. Wiley.
- Picariello, L., Gambuti, A., & Moio, L. (2019). Evolution of phenolic compounds during red wine aging. *Food Chemistry*, 277, 558–565.
- Ribéreau-Gayon, P., Dubourdieu, D., Donèche, B., & Lonvaud, A. (2006). Handbook of enology: Volume 1. *The microbiology of wine and vinifications* (2nd ed.). Wiley.
- Sacchi, K. L., Bisson, L. F., & Adams, D. O. (2005). A review of the effect of winemaking techniques on phenolic extraction in red wines. *American Journal of Enology and Viticulture*, 56(3), 197–206.
- Togores, J. H. (2011). *Tratado de enología* (Vol. 1). Mundi-Prensa.

ANEXO I

Imágenes del proceso de vinificación



Figura A1. Operación de encubado mediante el uso de cubones de acero inoxidable, utilizada para la carga homogénea de uva en los tanques de fermentación.



Figura A2. Tanque de fermentación utilizado en el ensayo, equipado con sistema de conexión para la inyección de gas nitrógeno empleado en la homogeneización del medio durante la maceración con sombrero sumergido.



Figura A3. Sistema de maceración con sombrero sumergido (MSS) instalado en el tanque de fermentación, mostrando el dispositivo de retención de sólidos que permite mantener la fase sólida permanentemente sumergida durante la fermentación alcohólica.



Figura A4. Detalle del sistema de retención del sombrero en el tratamiento de maceración con sombrero sumergido (MSS), mostrando la placa perforada utilizada para mantener la fase sólida sumergida durante la fermentación.



Figura A5. Superficie del mosto durante la fermentación alcohólica en el sistema de maceración con sombrero sumergido (MSS), evidenciando la ausencia de sombrero flotante y la presencia de una fase líquida continua sobre el sistema de retención.

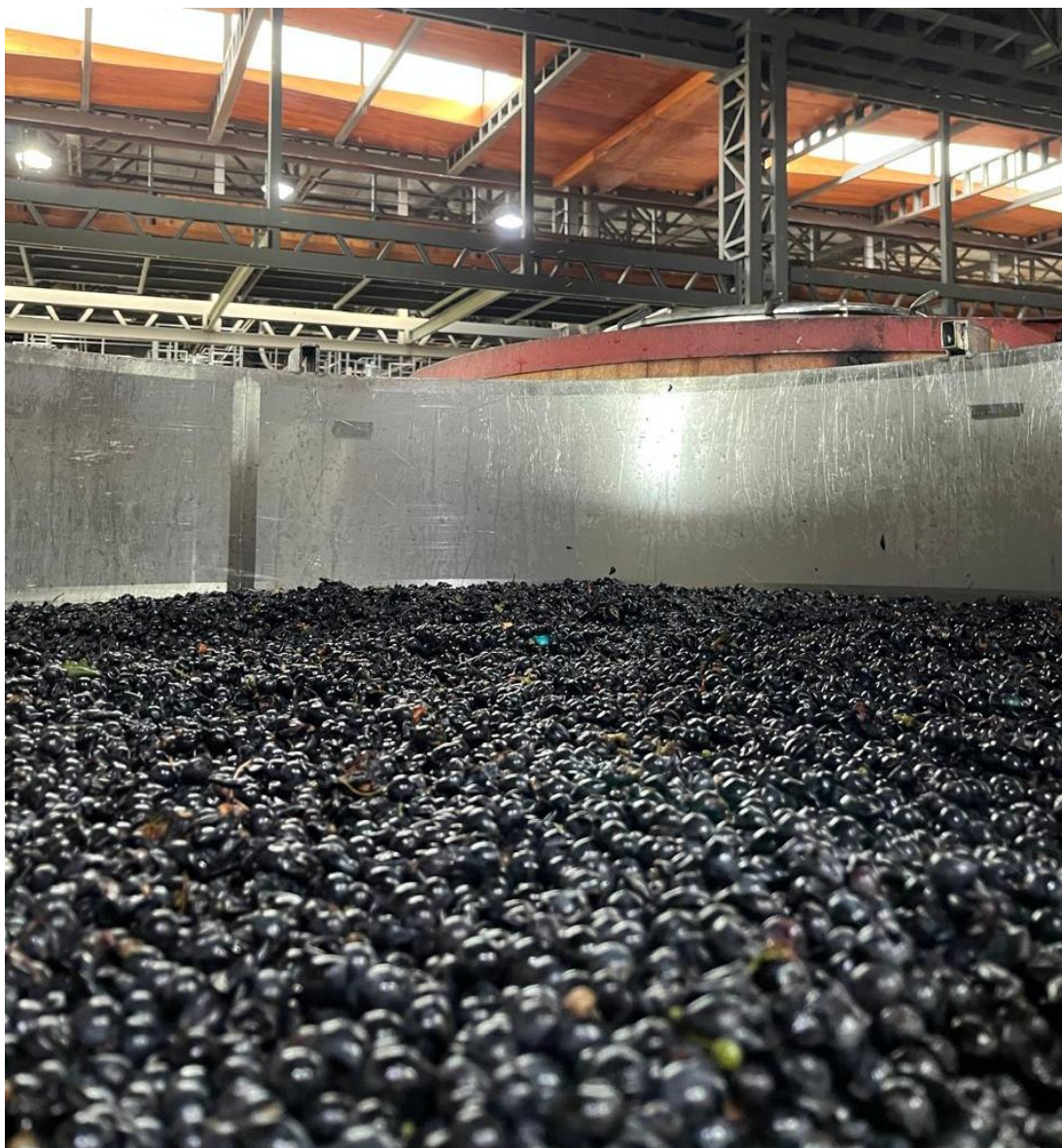


Figura A6. Sombrero flotante característico de la maceración tradicional (MTR) durante la fermentación alcohólica, evidenciándose la acumulación de sólidos en la superficie del mosto y la formación de una fase sólida continua.

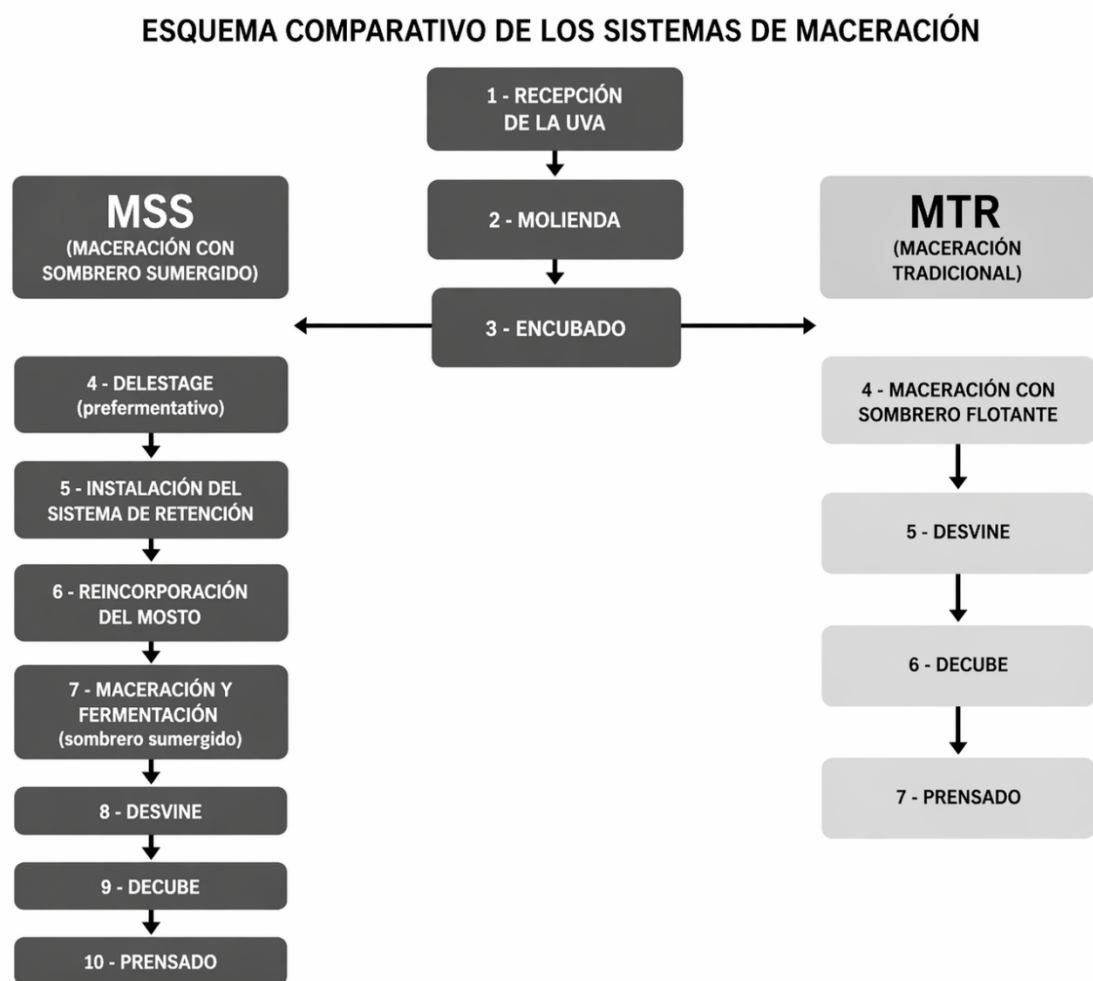


Figura A7. Esquema comparativo de las secuencias operativas correspondientes a los sistemas de maceración con sombrero sumergido (MSS) y maceración tradicional (MTR).