



Universidad Católica de Cuyo

Universidad Católica de Cuyo

Facultad Don Bosco de Enología
y Ciencias de la Alimentación

**LA BIOPROTECCIÓN COMO REEMPLAZO DEL ANHÍDRIDO SULFUROSO,
DURANTE LA FERMENTACIÓN DE VINO BLANCO VARIEDAD PEDRO
GIMÉNEZ**

Licenciatura en Enología

Alumno: Giménez Rubén Diego

Docente Asesor: María Jimena López

Docente de Revisión Formal: Elena Caliguli

Sede Rodeo del Medio, 2026.

LUGAR Y FECHA: Mendoza, Rodeo del medio, mes y año

DEFENSA ORAL

LIBRO N° _____ FOLIO N° _____

ACTA N° _____

FECHA: ____/____/____

CALIFICACIÓN _____

FIRMAS TRIBUNAL EXAMINADOR

ÍNDICE GENERAL

RESUMEN	6
ABSTRACT	7
INTRODUCCIÓN	8
CAPÍTULO 1: ANHÍDRIDO SULFUROSO (SO ₂)	10
1-1- Alternativas del anhídrido sulfuroso	11
1-2- Parámetros fisicoquímicos	13
1-3- Clasificación como aditivo tóxico	15
CAPÍTULO 2: BIOPROTECCIÓN	17
2-1- Fundamento.....	18
2-2- Requisitos previos.....	19
2-3- Impacto de la reducción del SO ₂ en la población microbológica	20
2-4- Bioprotección y consumo de oxígeno	22
2-5- Bioprotección y control de la población microbológica	24
2-6- Funcionamiento de la bioprotección	26
2-7- Características de <i>Metschnikowia pulcherrima</i>	29
2-8- ¿Qué mecanismos específicos de <i>Metschnikowia pulcherrima</i> están involucrados en la bioprotección?	32
2-9- Bioprotección en material	34
CAPÍTULO 3: VARIEDAD PEDRO GIMÉNEZ	37
3-1- Superficie	38
3-2- Sistema de conducción	41
3-3- Producción	42

CAPÍTULO 4: HIPOTÉISIS, OBJETIVOS, TIPO DE INVESTIGACIÓN Y

METODOLOGÍA	44
Hipótesis general	44
Objetivo general	44
Objetivos específicos	44
4-1-Tipo de investigación	45
4-2- Metodología y Diseño Experimental	45
4-3- Selección de unidad de análisis y muestras para el ensayo	46
4-4- Desarrollo del proceso de vinificación.....	47
CAPÍTULO 5: RESULTADOS	50
5-1- Primera etapa: control de madurez y caracterización inicial del mosto.....	50
5-2- Segunda etapa: evolución de la fermentación alcohólica	52
5-3- Evaluación microbiológica durante la fermentación	55
5-3-1. Etapa inicial de fermentación	55
5-3-2. Etapa intermedia de fermentación	57
5-4- Evaluación final del vino y estabilidad microbiológica.....	59
5-5- Evaluación sensorial	61
5-6- Análisis económico	62
DISCUSIÓN	64
CONCLUSIONES.....	67

DEDICATORIA

Quiero dedicar el trabajo final de grado a mi familia, a mis padres, esposa e hijos, por haber sido mi sostén fundamental en cada etapa de este largo proceso. Gracias a mis padres por enseñarme, con su ejemplo, el valor del esfuerzo y apoyarme en los momentos de debilidad. Gracias a mi esposa e hijos por brindarme el apoyo y acompañamiento necesario para poder alcanzar este objetivo. Gracias a la comunidad de Don Bosco por abrirme las puertas y haberme ayudado a formarme como profesional. Y por último gracias a Dios por haberme colocado y guiado, a elegir el camino y la profesión correcta, para poder día a día desempeñarme en lo que me apasiona.

RESUMEN

En el presente trabajo se desarrolló una investigación teórica y un ensayo práctico con el objetivo de evaluar una alternativa microbiológica al uso de anhídrido sulfuroso (SO_2) en la elaboración de vinos, sin alterar las condiciones sensoriales, químicas y microbiológicas del producto final. La propuesta se fundamenta en la necesidad de reducir el empleo de aditivos químicos en la industria vitivinícola. Se aplicó un diseño experimental comparativo mediante dos vinificaciones en paralelo: un tratamiento testigo con uso convencional de SO_2 y otro con aplicación de bioprotección utilizando levaduras no-*Saccharomyces* (*Metschnikowia pulcherrima*), seguido de la inoculación de *Saccharomyces cerevisiae*. Durante el proceso se realizaron análisis fisicoquímicos, microbiológicos y sensoriales, así como una evaluación de costos. Los resultados indicaron que la bioprotección permitió controlar la microbiota del mosto y asegurar un adecuado desarrollo de la fermentación, obteniendo vinos con parámetros dentro de los rangos esperados y sin diferencias sensoriales significativas respecto al testigo. Asimismo, se logró reducir el uso de SO_2 sin comprometer la estabilidad ni la inocuidad del producto. En conclusión, la bioprotección se presenta como una alternativa viable para reemplazar o disminuir el uso de anhídrido sulfuroso en la fermentación alcohólica de vinos blancos.

Palabras clave: bioprotección, anhídrido sulfuroso, vino blanco, *Metschnikowia pulcherrima*, fermentación alcohólica

ABSTRACT

This work presents a theoretical study and a practical trial aimed at evaluating a microbiological alternative to the use of sulfur dioxide (SO₂) in winemaking, without affecting the sensory, chemical, and microbiological characteristics of the final product. This approach is based on the need to reduce the use of chemical additives in the wine industry. A comparative experimental design was applied through two parallel vinifications: a control treatment using conventional SO₂ and a second treatment based on bioprotection with non-Saccharomyces yeasts (*Metschnikowia pulcherrima*), followed by inoculation with *Saccharomyces cerevisiae*. Physicochemical, microbiological, and sensory analyses were carried out at different stages of the process, along with a cost evaluation. The results showed that bioprotection effectively controlled the must microbiota and ensured proper fermentation development, producing wines with parameters within expected ranges and without significant sensory differences compared to the control. In addition, SO₂ use was reduced without compromising product stability or safety. In conclusion, bioprotection represents a viable alternative to replace or reduce sulfur dioxide during alcoholic fermentation in white wines.

Keywords: bioprotection, sulfur dioxide, white wine, *Metschnikowia pulcherrima*, alcoholic fermentation

INTRODUCCIÓN

En la actualidad, la industria vitivinícola se encuentra en un proceso de transformación orientado hacia la adopción de prácticas tecnológicas que permitan reducir el uso de aditivos químicos, en respuesta tanto a las exigencias del mercado como a la creciente demanda de los consumidores por productos más seguros, naturales y de mayor calidad (Gómez y Vazquez, 2026). En este contexto, el anhídrido sulfuroso (SO_2), ampliamente utilizado en enología por sus propiedades antioxidantes, antioxidásicas y antimicrobianas, ha sido objeto de revisión debido a sus posibles efectos adversos sobre la salud cuando se encuentra presente en concentraciones elevadas, así como por su impacto en la percepción del consumidor (Binati y col., 2024).

A nivel global, se observa una tendencia hacia la disminución progresiva del uso de SO_2 en la elaboración de vinos, promoviendo la búsqueda de alternativas tecnológicas capaces de cumplir funciones equivalentes sin comprometer la calidad, estabilidad e inocuidad del producto final (Artem y col., 2022). Entre estas estrategias, la bioprotección ha surgido como una herramienta innovadora basada en la aplicación de microorganismos seleccionados, principalmente levaduras no-Saccharomyces, que permiten controlar el desarrollo de la microbiota autóctona no deseada mediante mecanismos de competencia y consumo de nutrientes, reduciendo así la necesidad de aditivos químicos (Maicas y Mateo, 2023).

En este marco, el presente trabajo aborda la elaboración de un vino blanco tecnológico de la variedad Pedro Giménez mediante la aplicación de bioprotección como alternativa al uso de SO_2 durante la fermentación alcohólica. Se plantea un diseño experimental comparativo mediante la realización de dos vinificaciones en

paralelo: una elaboración testigo con aplicación convencional de SO_2 y un ensayo con aplicación de bioprotección, lo que permitirá evaluar el comportamiento de ambos tratamientos bajo condiciones controladas.

CAPÍTULO 1: ANHÍDRIDO SULFUROSO (SO₂)

El anhídrido sulfuroso (SO₂) comenzó a utilizarse como agente conservante a finales del siglo XVIII y, en la actualidad, continúa siendo ampliamente empleado en la industria alimentaria, especialmente en productos con bajo pH como jugos de frutas y bebidas fermentadas. En enología, su uso ha sido tradicional debido a su acción antioxidante, antioxidásica y antimicrobiana, lo que permite controlar tanto el desarrollo de microorganismos no deseados como los procesos oxidativos del vino, evitando desviaciones en la fermentación y preservando su calidad (Mariach, 2022).

Cabe destacar que el SO₂ presente en el vino no proviene exclusivamente de adiciones externas, ya que también puede generarse de forma natural durante la fermentación alcohólica como resultado del metabolismo de las levaduras. En este sentido, las distintas cepas de levaduras presentan variabilidad en la cantidad de sulfuroso que producen, lo cual constituye un aspecto relevante en la selección de levaduras enológicas. Si bien los mecanismos que explican estas diferencias no están completamente esclarecidos, se ha sugerido que podrían estar relacionados con variaciones en la actividad de enzimas involucradas en el metabolismo del azufre. No obstante, la mayoría de las levaduras comerciales disponibles se caracterizan por una baja producción de SO₂ (Martín-García y col., 2023).

Desde el punto de vista químico, el SO₂ se encuentra en equilibrio entre distintas formas en el vino, incluyendo una fracción libre, que es la responsable de su actividad, y una fracción combinada con otros compuestos. La suma de ambas constituye el contenido total de SO₂. La proporción entre estas formas depende principalmente del pH del medio, lo que influye directamente en su eficacia y dificulta la determinación precisa de la dosis óptima a utilizar en cada caso. Por esta razón,

en la práctica se aplican valores orientativos según el tipo de vino, procurando evitar concentraciones excesivas que puedan afectar negativamente las características sensoriales o generar efectos adversos en la salud del consumidor, como reacciones de tipo alérgico. Asimismo, la normativa vigente exige declarar la presencia de sulfitos en el etiquetado cuando superan determinados niveles (Ashmore y col., 2023).

En este contexto, y debido a los potenciales riesgos asociados al uso de sulfuroso, existe un interés creciente en el desarrollo de alternativas que permitan reemplazar o reducir su utilización. Estas estrategias deben ser capaces de garantizar la estabilidad microbiológica y oxidativa del vino, sin comprometer sus características organolépticas ni su calidad final.

1-1- Alternativas del anhídrido sulfuroso

A pesar del creciente interés del sector vitivinícola por reducir el uso de SO_2 , las alternativas disponibles aún presentan limitaciones y, en la mayoría de los casos, no logran reemplazar de manera integral todas sus funciones. Esto se debe a que el SO_2 posee una acción múltiple, actuando simultáneamente como antioxidante, antioxidásico y antimicrobiano, lo que lo convierte en un insumo difícil de sustituir completamente (Martín-García y col., 2023).

Entre las estrategias más prometedoras se encuentra la bioprotección, que consiste en la aplicación de microorganismos seleccionados, principalmente levaduras no-Saccharomyces, sobre la vendimia o el mosto. Estos microorganismos colonizan el medio y limitan el desarrollo de la microbiota autóctona no deseada mediante mecanismos de competencia, contribuyendo a prevenir alteraciones que puedan afectar las características sensoriales del vino (Calvo Gracia, 2023).

Desde el punto de vista antioxidante, se han propuesto diferentes compuestos como alternativas. Los taninos, dependiendo de su origen, presentan capacidad antioxidante, aunque su uso está condicionado por su impacto sobre las propiedades organolépticas del vino, lo que restringe su aplicación en altas concentraciones. El ácido ascórbico también se utiliza por su elevada reactividad frente al oxígeno, especialmente en mostos y vinos jóvenes. Sin embargo, su oxidación genera peróxido de hidrógeno, un compuesto altamente reactivo que, en ausencia de sulfuroso, puede favorecer procesos oxidativos no deseados. Más recientemente, se ha incorporado el uso de glutatión, un tripéptido con fuerte capacidad antioxidante, cuya aplicación en enología se realiza principalmente a través de preparados de levaduras inactivas enriquecidas en este compuesto (Esparza y col., 2020).

En relación con la actividad antioxidásica, ciertos taninos han demostrado capacidad para inhibir enzimas oxidativas, como la tirosinasa, y también actuar frente a enzimas asociadas a contaminaciones fúngicas, como las producidas por especies de *Botrytis*. Esta propiedad resulta particularmente relevante en mostos provenientes de uvas con menor calidad sanitaria (Díaz Sánchez y col., 2023).

Por otra parte, existen compuestos con acción antimicrobiana que pueden complementar o sustituir parcialmente al SO_2 . El dimetildicarbonato (DMDC) es eficaz en la inactivación de levaduras, aunque su efecto es transitorio debido a su rápida hidrólisis. Asimismo, la lisozima se emplea por su capacidad de actuar sobre bacterias Gram positivas, especialmente bacterias lácticas, mediante la degradación de su pared celular. Sin embargo, no presenta actividad frente a bacterias Gram negativas ni sobre levaduras, por lo que su aplicación no permite un control completo de la microbiota durante la fermentación (Howe y col., 2018).

En conjunto, estas alternativas pueden contribuir a la reducción del uso de SO_2 , aunque ninguna de ellas, por sí sola, logra replicar todas sus funciones, lo que hace necesario el desarrollo de estrategias combinadas, como la bioprotección, para avanzar hacia sistemas de vinificación más sustentables.

1-2- Parámetros fisicoquímicos

El SO_2 presente en el vino se distribuye en distintas formas químicas que se encuentran en equilibrio dinámico en el medio. Desde el punto de vista enológico, se distingue entre sulfuroso libre, responsable de la actividad antimicrobiana y antioxidante, y sulfuroso combinado, que se encuentra unido a diferentes compuestos del vino. La suma de ambas fracciones constituye el sulfuroso total, parámetro habitualmente utilizado para evaluar su contenido en el producto final (Calvo Gracia, 2023).

La proporción relativa entre estas formas depende principalmente del pH del vino, lo que influye directamente en la eficacia del SO_2 . A valores de pH más bajos, la fracción activa es mayor, lo que permite alcanzar el mismo efecto protector con menores concentraciones totales. Por este motivo, la determinación de la dosis adecuada de sulfuroso debe considerar las características fisicoquímicas del vino, especialmente el pH, para asegurar su efectividad sin exceder niveles innecesarios (Martín-García y col., 2023).

En términos regulatorios, el contenido de SO_2 en vinos se encuentra limitado por normativas específicas que establecen concentraciones máximas permitidas según el tipo de producto. De acuerdo con la legislación vigente del Instituto Nacional de Vitivinicultura, 2019, los límites máximos de SO_2 total varían en función del tipo de vino, siendo generalmente más bajos para vinos tintos secos y más elevados para

vinos blancos, rosados o con contenido de azúcares residuales. Asimismo, se contemplan tolerancias analíticas asociadas a la medición de este parámetro.

Desde el punto de vista químico, una parte significativa del sulfuroso combinado se encuentra asociada a compuestos carbonílicos, como el acetaldehído, lo que reduce la fracción libre disponible. Esta interacción tiene implicancias tanto en la estabilidad del vino como en sus características sensoriales, ya que concentraciones elevadas de sulfuroso pueden generar defectos organolépticos y afectar la aceptación del producto por parte del consumidor (Esparza y col., 2020).

Por otra parte, la legislación establece la obligatoriedad de declarar la presencia de sulfitos en el etiquetado cuando su concentración supera determinados umbrales, con el fin de informar al consumidor sobre su contenido. En este sentido, existe una tendencia a limitar su concentración en el producto final, no solo por razones tecnológicas, sino también por aspectos vinculados a la salud y a la percepción de calidad (Instituto Nacional de Vitivinicultura, 2018).

En conjunto, el control de los parámetros fisicoquímicos asociados al SO_2 resulta fundamental para optimizar su uso en enología, equilibrando su eficacia tecnológica con las restricciones normativas y las expectativas del consumidor (Tabla N° 1).

Tabla 1. Límites máximos de anhídrido sulfuroso según el tipo de vino.

Tipo de vino	SO₂ total máximo (mg/L)	Tolerancia (mg/L)
Vino tinto seco	130	± 35
Vinos blancos y rosados secos	180	± 35
Vinos tintos abocados y dulces	180	± 35
Vinos blancos y rosados abocados y dulces	210	± 35

Fuente: Elaboración propia en base a normativa del Instituto Nacional de Vitivinicultura, 2019.

Nota: límites y tolerancias de anhídrido sulfuroso, según INV.

1-3- Clasificación como aditivo tóxico

La elaboración de vinos contempla el uso de distintos aditivos autorizados por la normativa vigente, los cuales cumplen funciones tecnológicas específicas durante el proceso de vinificación. Entre ellos, se destacan los conservantes, antioxidantes y agentes estabilizantes, cuyo empleo se encuentra regulado por organismos oficiales.

Dentro de estos aditivos, el SO₂ y sus sales constituyen uno de los principales compuestos utilizados, ya que actúan como agentes antimicrobianos y antioxidantes. Asimismo, el ácido sórbico y sus sales pueden emplearse como inhibidores de la fermentación en vinos que contienen azúcares residuales, contribuyendo a evitar fermentaciones indeseadas (Yıldırım y Darıcı, 2020).

Por otra parte, el ácido ascórbico y el ácido eritórbico se utilizan como antioxidantes, con el objetivo de proteger al vino frente a procesos oxidativos durante su elaboración y almacenamiento. El uso de estos compuestos, al igual que el de

otros aditivos enológicos, se encuentra estrictamente regulado, estableciendo condiciones y límites específicos para su aplicación (Cañas, 2023).

En conjunto, la utilización de aditivos en la industria vitivinícola responde a la necesidad de asegurar la estabilidad, inocuidad y calidad del producto final, dentro del marco de las normativas vigentes.

CAPÍTULO 2: BIOPROTECCIÓN

El SO₂ ha sido, históricamente, uno de los insumos más utilizados en enología debido a su amplio espectro de acción, que abarca propiedades antioxidantes, antioxidásicas y antimicrobianas, así como su bajo costo y facilidad de aplicación (Mariach, 2022; Martín-García y col., 2023). No obstante, las tendencias actuales en la industria vitivinícola promueven la reducción de su empleo, lo que impulsa la búsqueda de estrategias alternativas capaces de cumplir funciones equivalentes sin comprometer la calidad del vino (Binati y col., 2024; Gómez y Vazquez, 2026).

En este contexto, la bioprotección ha emergido como una herramienta biotecnológica de creciente interés. Esta estrategia se basa en la aplicación de microorganismos seleccionados, principalmente levaduras no pertenecientes al género *Saccharomyces*, sobre la uva o el mosto, con el objetivo de controlar el desarrollo de la microbiota autóctona no deseada (Maicas y Mateo, 2023). Mediante mecanismos como la competencia por nutrientes y la rápida colonización del medio, estas levaduras restringen el crecimiento de microorganismos alterantes, contribuyendo así a la preservación de la calidad del producto (Calvo Gracia, 2023).

Asimismo, algunas especies de levaduras no-*Saccharomyces* presentan propiedades adicionales que refuerzan su potencial en bioprotección, tales como la capacidad de consumir oxígeno disuelto o de producir compuestos con actividad inhibitoria. Estas características potencian sus efectos antioxidantes y antimicrobianos, incrementando su eficacia en las etapas iniciales del proceso enológico (Maicas y Mateo, 2023; Esparza y col., 2020). En la actualidad, se dispone de diversos preparados comerciales específicamente desarrollados para este

propósito, diseñados para facilitar su aplicación en condiciones enológicas y optimizar el control microbiológico del mosto.

Si bien numerosos estudios han demostrado la eficacia de la bioprotección tanto a nivel experimental como en condiciones de campo, los mecanismos que regulan las interacciones entre las levaduras inoculadas y la microbiota nativa aún no se comprenden completamente (Maicas y Mateo, 2023). Estas interacciones involucran procesos complejos, tales como la competencia por nutrientes, la producción de metabolitos inhibitorios y las modificaciones del entorno fisicoquímico del mosto.

En este sentido, el presente capítulo se centra en el análisis del uso de levaduras no-*Saccharomyces* en estrategias de bioprotección, con especial énfasis en *Metschnikowia pulcherrima*, una de las especies más estudiadas en este ámbito, debido a su capacidad de implantación, su efecto modulador sobre la microbiota y su potencial contribución a la estabilidad del mosto (Calvo Gracia, 2023; Maicas y Mateo, 2023).

2-1- Fundamento

La bioprotección se define como la introducción de un organismo vivo con el fin de colonizar un nicho ecológico específico y limitar el desarrollo de microorganismos autóctonos no deseados (Calvo Gracia, 2023; Maicas y Mateo, 2023).

En el ámbito enológico, esta estrategia consiste en la aplicación de microorganismos seleccionados a la vendimia o al mosto, con el objetivo de prevenir desviaciones microbiológicas que puedan afectar negativamente la calidad del vino (Maicas y Mateo, 2023).

2-2- Requisitos previos

La implementación de estrategias de bioprotección en enología requiere una adecuada selección de los microorganismos a emplear, los cuales deben provenir preferentemente de la microbiota natural de la uva o del mosto, a fin de asegurar su adaptación a las condiciones enológicas y su capacidad de implantación en el medio (Calvo Gracia, 2023; Maicas y Mateo, 2023).

Estos microorganismos, generalmente levaduras no pertenecientes al género *Saccharomyces*, deben presentar una baja capacidad fermentativa a las dosis de inoculación recomendadas (entre 2 y 7 g/hL), lo que permite evitar el inicio prematuro de la fermentación alcohólica, al tiempo que favorece una rápida colonización del nicho ecológico. Esta colonización temprana resulta clave para limitar el desarrollo de la microbiota autóctona no deseada mediante mecanismos de exclusión competitiva (Maicas y Mateo, 2023).

Asimismo, es fundamental que las cepas seleccionadas posean características tecnológicas específicas, tales como tolerancia a bajas temperaturas, capacidad de crecimiento en condiciones de bajo contenido de nutrientes y resistencia a las condiciones fisicoquímicas del mosto, incluyendo pH y concentración de azúcares. Estas propiedades permiten su adecuada implantación durante las etapas prefermentativas, donde la bioprotección resulta más efectiva.

Por otro lado, se recomienda que estos microorganismos no produzcan compuestos indeseables que puedan afectar negativamente las características sensoriales del vino, como niveles elevados de acidez volátil o metabolitos asociados a defectos organolépticos. En este sentido, la selección de cepas con perfil metabólico controlado constituye un aspecto clave para garantizar la calidad del producto final.

En conjunto, el éxito de la bioprotección depende de la correcta selección y aplicación de los microorganismos, así como de su capacidad para adaptarse rápidamente al medio y establecerse como población dominante en las primeras etapas del proceso enológico.

2-3- Impacto de la reducción del SO₂ en la población microbiológica

En las estrategias de reducción del SO₂, la presión microbiológica del mosto se acentúa. Las poblaciones autóctonas son significativamente más importantes que en las modalidades sulfitadas tradicionalmente. Los efectos pueden ser diferentes según las especies contempladas, como demuestra la siguiente Tabla N° 2.

Tabla 1. *Influencia del anhídrido sulfuroso en diferentes cepas de levaduras*

	SO ₂ -	SO ₂ +
<i>Saccharomyces cerevisiae</i>	↘	↗
<i>Starmerella bacillaris</i>	→	→
<i>Hanseniaspora uvarum</i>	↗	↘
<i>Torulaspora delbrueckii</i>	↘	↗

Nota: respuesta de distintas levaduras al anhídrido.

No todas las especies de levaduras responden de igual manera a las variaciones en la concentración de anhídrido sulfuroso. En este sentido, ciertas especies consideradas indeseables, como *Hanseniaspora uvarum*, caracterizada por su capacidad de producir compuestos asociados a defectos sensoriales (principalmente acidez volátil), pueden incrementar su población en condiciones de bajas dosis de SO₂ (Martín-García y cols., 2023; Maicas y Mateo, 2023).

En este contexto, la aplicación de estrategias de bioprotección permite reducir la dosis de SO₂ sin comprometer la calidad del vino, al favorecer el control de la microbiota autóctona mediante la implantación de levaduras seleccionadas (Calvo Gracia, 2023). Estas levaduras actúan principalmente a través de mecanismos de competencia por nutrientes y colonización temprana del medio, limitando el desarrollo de microorganismos alterantes.

Por otra parte, en condiciones de elevada presión microbiológica, como ocurre en mostos con bajo nivel de sulfitado, la implantación de *Saccharomyces cerevisiae* inoculada puede verse dificultada. Esta situación favorece el desarrollo de fermentaciones menos controladas, lo que puede derivar en una mayor producción de compuestos no deseados, tales como acetato de etilo y acidez volátil, así como en un incremento de compuestos combinantes del SO₂ (Maicas y Mateo, 2023).

En contraste, la implementación de bioprotección contribuye a estabilizar el ecosistema microbiano del mosto desde las etapas iniciales, facilitando la posterior implantación de *Saccharomyces cerevisiae* y promoviendo un desarrollo fermentativo más controlado, con menor riesgo de desviaciones microbiológicas y sensoriales.

Se evaluó el efecto de la aplicación del preparado comercial ZYMAFLORE ÉGIDE (5 g/hL) en condiciones de vinificación sin adición de anhídrido sulfuroso, seguida de la inoculación de *Saccharomyces cerevisiae* (20 g/hL) luego de una maceración prefermentativa de 48 horas a 12 °C (Cupcea y Sturza, 2025) (Tabla 3).

Tabla 2. Comparación de concentraciones durante la fermentación alcohólica.

		No sulfitada	No sulfitada + ZYMAFLORE® EGIDE ^{TDMP}
Análisis durante la FA	Implantación cepa <i>S. cerevisiae</i>	Negativo	Positivo
Análisis al fin de la FA	TL35 (mg/L)	74	61
	Acetato de etilo (mg/L)	86	61
	AV (g/L H ₂ SO ₄)	0,22	0,13

Nota: comparación entre vinificaciones no sulfitadas frente a no sulfitadas más bioprotección.

2-4- Bioprotección y consumo de oxígeno

Se ha seleccionado una cepa de la especie *Metschnikowia pulcherrima* debido a su elevada capacidad de consumo de oxígeno disuelto en el mosto, lo que contribuye a limitar el desarrollo de la microbiota autóctona no deseada (Maicas y Mateo, 2023; Calvo Gracia, 2023). Esta característica resulta particularmente relevante en etapas prefermentativas, donde el control microbiológico y oxidativo es determinante para la calidad del producto final.

Asimismo, esta especie presenta una adecuada adaptación a condiciones de bajas temperaturas y a procesos prefermentativos prolongados, tales como el desfangado y la estabulación en mostos blancos y rosados, así como durante el encubado de uvas destinadas a maceraciones prefermentativas en frío (Calvo Gracia, 2023). Estas condiciones favorecen su implantación y actividad bioprotectora.

La concentración de oxígeno disuelto en los mostos varía en función de la temperatura, siendo mayor a bajas temperaturas, lo que incrementa la relevancia de microorganismos con capacidad de consumo de oxígeno en estas etapas del proceso. En este contexto, la aplicación temprana de *Metschnikowia pulcherrima* permite ejercer un efecto antioxidante significativo, asociado tanto al consumo de oxígeno como a su rápida colonización del medio (Maicas y Mateo, 2023).

Diversos estudios han demostrado que las cepas de *Metschnikowia pulcherrima* presentan una mayor capacidad de consumo de oxígeno en comparación con otras levaduras no-*Saccharomyces*, lo que refuerza su potencial como herramienta de bioprotección enológica (Maicas y Mateo, 2023) (Figura N° 1).

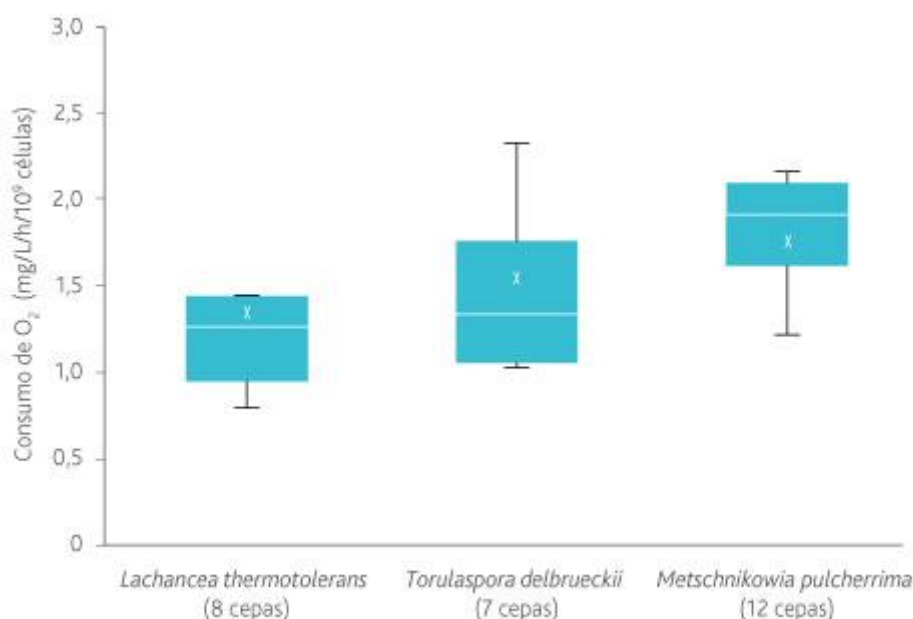


Figura N° 1: Consumo de O₂ según cepa de levadura

Fuente: Adaptado de bioprotección, por Laffort (s.f.), <https://laffort.com/es/bioprotection/>

2-5- Bioprotección y control de la población microbiológica

Durante los procesos prefermentativos prolongados, la presencia de lías ricas en nutrientes favorece el desarrollo de la microbiota autóctona, incluyendo microorganismos de alteración que pueden comprometer la calidad del mosto (Maicas y Mateo, 2023). Este crecimiento microbiano no controlado puede inducir el inicio de fermentaciones alcohólicas espontáneas, dificultando los procesos de clarificación y afectando negativamente las características finales del vino.

Asimismo, la elevada presión microbiológica en estas condiciones puede obstaculizar la adecuada implantación de levaduras seleccionadas de *Saccharomyces cerevisiae* inoculadas posteriormente, generando fermentaciones menos controladas y favoreciendo la aparición de compuestos indeseables (Calvo Gracia, 2023).

En este contexto, la aplicación de estrategias de bioprotección mediante el uso de preparados comerciales como ZYMAFLORE KHIO permite limitar el crecimiento de la microbiota espontánea no deseada, favoreciendo el control del ecosistema microbiano del mosto desde las etapas iniciales del proceso (<https://laffort.com/es/bioprotection/>). Se evaluó una estabulación de 10 días a 4 °C, con inoculación al inicio del proceso del preparado comercial ZYMAFLORE KHIO en una dosis de 5 g/hL.

En la cuba testigo, la microbiota presente al final de la estabulación mostró una predominancia superior al 90 % de levaduras autóctonas de *Saccharomyces cerevisiae*.

En contraste, en la modalidad inoculada, la colonización por *Metschnikowia pulcherrima* presente en ZYMAFLORE KHIO permitió limitar el desarrollo de levaduras autóctonas de *Saccharomyces cerevisiae*, reduciendo así el riesgo de inicio

de fermentaciones alcohólicas espontáneas durante la etapa de estabulación (Figura N°2).

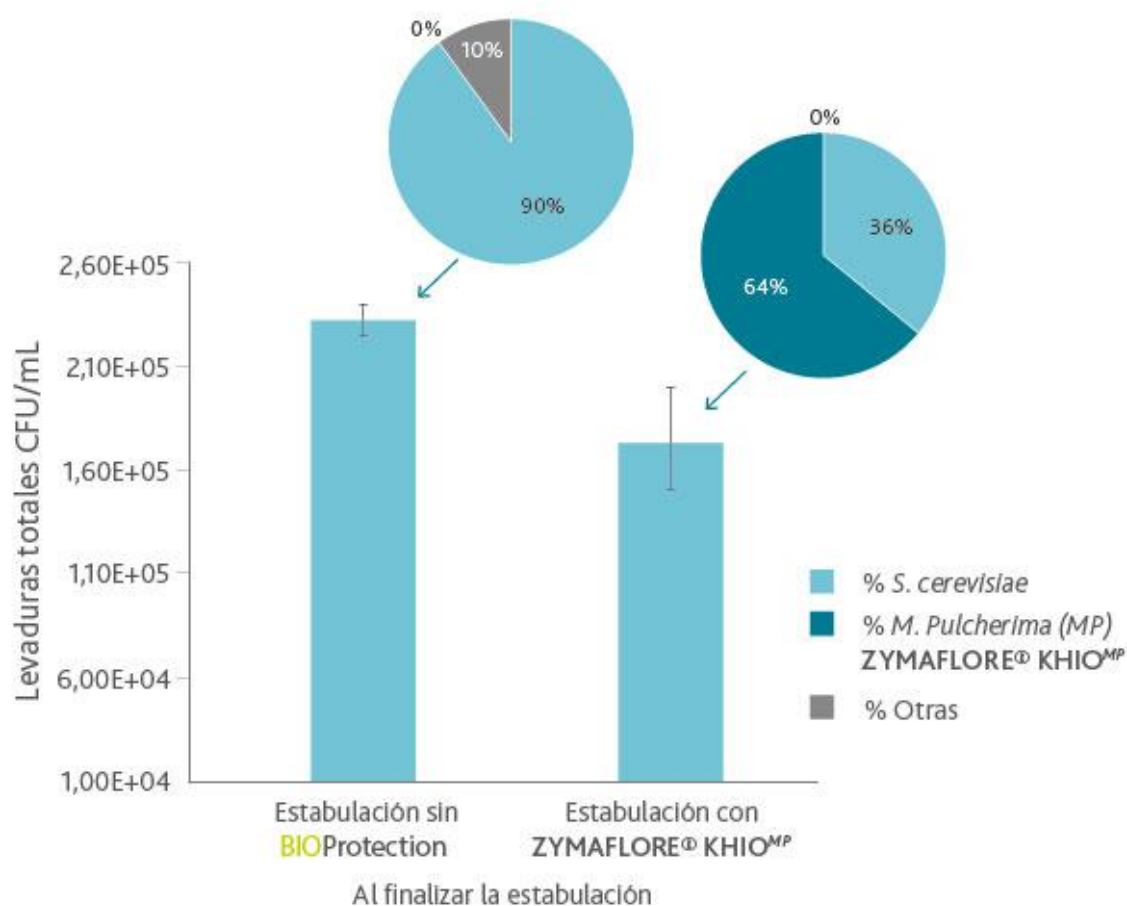


Figura N° 1: Comparación de concentraciones de levaduras con y sin bioprotección.

Fuente: Adaptado de bioprotección, por Laffort (s.f.),

<https://laffort.com/es/bioprotection/>

2-6- Funcionamiento de la bioprotección

La bioprotección enológica se basa en la aplicación de microorganismos seleccionados con el objetivo de colonizar el medio y limitar el desarrollo de la microbiota autóctona no deseada. Este enfoque permite ejercer un control microbiológico temprano en el mosto, contribuyendo a prevenir desviaciones durante el proceso de vinificación (Maicas y Mateo, 2023; Calvo Gracia, 2023).

El funcionamiento de la bioprotección puede explicarse a través de dos mecanismos principales. En primer lugar, la **exclusión competitiva**, que implica la inoculación de cultivos seleccionados capaces de implantarse rápidamente en el medio, compitiendo eficazmente por nutrientes y espacio con otros microorganismos. Este fenómeno permite que las cepas inoculadas prevalezcan sobre la microbiota autóctona, limitando su desarrollo. Un ejemplo de este principio es la utilización de bacterias lácticas como *Oenococcus oeni* para el control de la fermentación maloláctica en condiciones específicas.

En segundo lugar, la bioprotección puede actuar mediante la **producción de compuestos inhibitorios**, tales como alcoholes, ácidos orgánicos o péptidos con actividad antimicrobiana, que contribuyen a inhibir el crecimiento de microorganismos indeseables (Maicas y Mateo, 2023).

En el ámbito enológico, la bioprotección se implementa principalmente mediante el uso de levaduras no pertenecientes al género *Saccharomyces*, entre las que se destacan *Torulaspora delbrueckii* y *Metschnikowia pulcherrima*. Estas especies presentan la capacidad de implantarse en las etapas iniciales del proceso, ejercer un control efectivo sobre la microbiota y, en consecuencia, permitir la reducción del uso de anhídrido sulfuroso sin comprometer la calidad del vino (Calvo Gracia, 2023; Maicas y Mateo, 2023).

En la práctica, la bioprotección implica la aplicación directa de estos microorganismos sobre la vendimia, la uva o el mosto, con el objetivo de colonizar el nicho ecológico desde las primeras etapas del proceso. De este modo, se limita el desarrollo de la flora de alteración y se favorece un entorno microbiológico más estable y controlado.

En este contexto, diferentes soluciones comerciales han sido desarrolladas para facilitar la implementación de esta estrategia en condiciones enológicas, basadas principalmente en el uso de especies como *Torulaspora delbrueckii* y *Metschnikowia pulcherrima*, adaptadas a los requerimientos tecnológicos actuales (<https://laffort.com/es/bioprotection/>) (Tabla N° 4).

Tabla 3. Comparación entre cepas de levaduras para bioprotección.

ZYMAFLORE® ÉGIDE ^{TDMP}	ZYMAFLORE® KHIO ^{MP}
<i>Torulaspora delbrueckii</i> y <i>Metschnikowia pulcherrima</i>	<i>Metschnikowia pulcherrima</i>
Capacidad de implantación sobre uva y mosto	Adaptada a las fases pre-fermentativas a baja temperatura (control de frío)
Aplicación directa sobre material de vendimia	Alta capacidad de consumo de oxígeno disuelto en el mosto
Débil actividad fermentativa	Muy débil actividad fermentativa

Fuente: Adaptado de bioprotección, por Laffort (s.f.),
<https://laffort.com/es/bioprotection/>

Nota: diferentes cepas de levaduras utilizadas en bioprotección.

A bajas dosis de inoculación (entre 2 y 7 g/hL), con o sin rehidratación previa, los preparados comerciales basados en levaduras no-*Saccharomyces*, como ZYMAFLORE ÉGIDE y ZYMAFLORE KHIO, han demostrado ser eficaces en el control del desarrollo de microorganismos de alteración (<https://laffort.com/es/bioprotection/>). Esta eficacia se relaciona con su capacidad de implantación temprana y su acción competitiva sobre la microbiota autóctona.

Entre las especies comúnmente inhibidas mediante estrategias de bioprotección se encuentra *Hanseniaspora uvarum*, una levadura predominante en la superficie de la uva, asociada a la producción de compuestos indeseables como acidez volátil y acetato de etilo (Maicas y Mateo, 2023). Asimismo, la bioprotección contribuye al control de otros microorganismos de impacto negativo en la calidad del vino, como las bacterias acéticas, responsables de alteraciones oxidativas y defectos sensoriales.

Además de su efecto antimicrobiano, la bioprotección puede ejercer un papel relevante en la prevención de procesos oxidativos. Este efecto se encuentra vinculado, en parte, a la capacidad de ciertas levaduras de consumir oxígeno disuelto en el mosto, reduciendo así la disponibilidad de este para reacciones de oxidación (Maicas y Mateo, 2023). En este sentido, *Metschnikowia pulcherrima* se destaca por su elevada capacidad de consumo de oxígeno, lo que refuerza su potencial como herramienta de bioprotección con efecto antioxidante (Figura N° 3).

La concentración de oxígeno disuelto en los mostos se encuentra influenciada por la temperatura, siendo generalmente mayor a bajas temperaturas. En este contexto, el carácter criófilo de ciertas levaduras y su preferencia metabólica por el consumo de oxígeno constituyen parámetros complementarios de gran relevancia para el desarrollo de una bioprotección eficaz (Maicas y Mateo, 2023).

En particular, ZYMAFLORE KHIO, basado en una cepa de *Metschnikowia pulcherrima* con adaptación a bajas temperaturas, presenta una elevada capacidad de consumo de oxígeno disuelto en el mosto. Esta característica contribuye a limitar el crecimiento de la microbiota de alteración, al tiempo que ejerce un efecto antioxidante al reducir la disponibilidad de oxígeno para reacciones oxidativas (Calvo Gracia, 2023) (Figura N° 3).

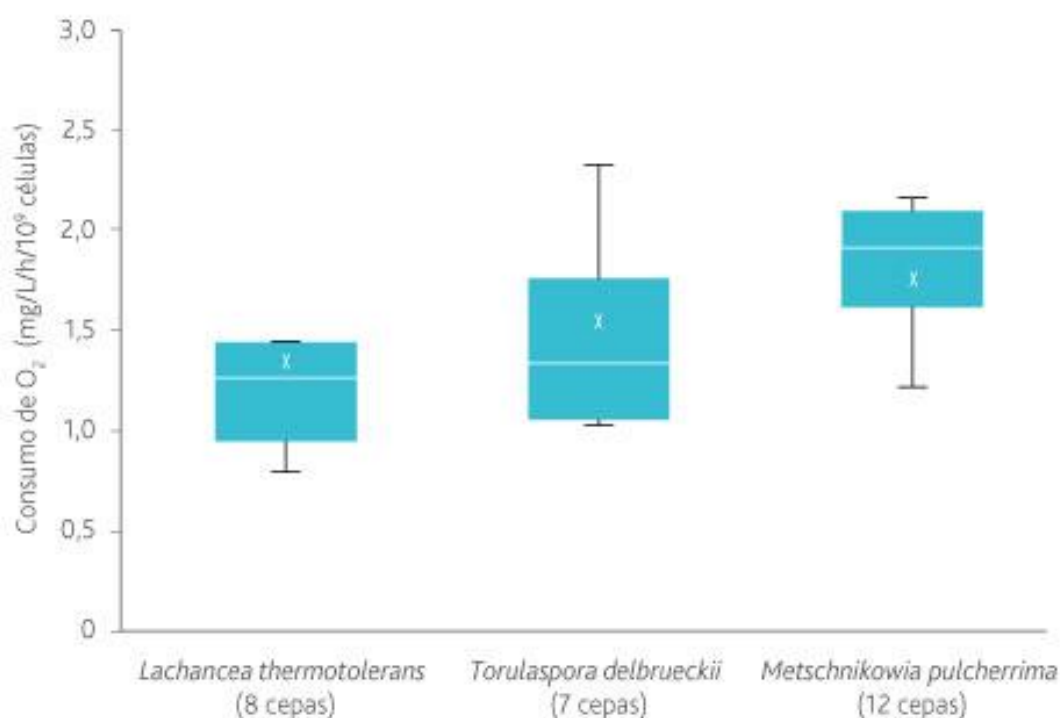


Figura N° 2: Comparación de consumo de O₂ según cepa de levadura.

Fuente: Adaptado de bioprotección, por Laffort (s.f.),

<https://laffort.com/es/bioprotection/>

2-7- Características de *Metschnikowia pulcherrima*

Las cepas disponibles comercialmente para su uso en bioprotección han sido caracterizadas fenotípicamente en condiciones enológicas y cumplen con los criterios

establecidos para su aplicación en vinificación (Roudil y col., 2020). Estas cepas han sido seleccionadas en función de su capacidad de adaptación al medio, su comportamiento fermentativo y su potencial para controlar la microbiota autóctona. Entre ellas, las cepas de *Metschnikowia pulcherrima* se encuentran entre las más estudiadas en estrategias de bioprotección, ya sea utilizadas de forma individual o en combinación con otras levaduras no-*Saccharomyces*, como *Torulaspora delbrueckii* (Maicas y Mateo, 2023). Estas levaduras no solo presentan efectos antagónicos frente a otras especies autóctonas, sino que también exhiben una notable tolerancia a bajas temperaturas, lo que las convierte en herramientas particularmente eficaces en etapas prefermentativas realizadas en frío (Calvo Gracia, 2023).

En cuanto a su aplicación, los protocolos de uso de bioprotectores basados en *Metschnikowia* son relativamente homogéneos entre los distintos productos comerciales, los cuales se presentan generalmente en formato seco. El procedimiento de rehidratación es similar al empleado para *Saccharomyces cerevisiae*, y las dosis de inoculación suelen oscilar entre 5 g/hL en uvas y 3–5 g/hL en mosto, alcanzando concentraciones del orden de 10^5 a 10^6 unidades formadoras de colonias (UFC)/mL (Calvo Gracia, 2023; Maicas y Mateo, 2023). Se recomienda su aplicación en etapas tempranas del proceso, ya sea en la tolva de recepción, durante el encubado o mediante pulverización en vendimia mecánica. En el caso de vinificaciones en blanco, su incorporación puede realizarse inmediatamente después del prensado, favoreciendo una rápida implantación en el medio.

Diversos estudios han evaluado el comportamiento de *Metschnikowia pulcherrima* en condiciones enológicas específicas. En vinificación de mostos de Chardonnay, se analizó su implantación a diferentes temperaturas (7 °C, 12 °C y 18 °C) y tiempos de decantación (36 y 72 h), evidenciándose un efecto significativo de la

temperatura sobre su capacidad de colonización (Simonin y col., 2022). En particular, a 7 °C y con 72 horas de decantación, *M. pulcherrima* alcanzó hasta el 99 % de la población total de levaduras, reduciendo la presencia de *Hanseniaspora uvarum* a niveles mínimos e inhibiendo completamente el desarrollo de *Brettanomyces bruxellensis*.

Resultados similares fueron reportados en mostos de Verdicchio, donde la implantación de *M. pulcherrima* durante la clarificación en frío (10 °C durante 24 h) permitió un control eficaz de las poblaciones de levaduras autóctonas (Agarbati y col., 2023). Sin embargo, el incremento de la temperatura de sedimentación a 18 °C redujo significativamente la capacidad de implantación del bioprotector, limitando su efecto sobre la microbiota nativa (Simonin y col., 2022).

En relación con el impacto en las características organolépticas, los resultados reportados son variables y dependen de la variedad de uva y de las condiciones de vinificación. En mostos de Chardonnay, la aplicación de bioprotección no mostró efectos significativos sobre los parámetros químicos ni sensoriales del vino final (Simonin y cols., 2022). En contraste, en mostos de Verdicchio se observó una modificación del perfil aromático, atribuida a la producción de compuestos volátiles específicos, lo cual fue corroborado mediante análisis sensoriales (Agarbati y col., 2023).

En conjunto, estos resultados evidencian que la eficacia de la bioprotección mediante *Metschnikowia pulcherrima* depende en gran medida de las condiciones de aplicación, particularmente de la temperatura, así como de las características propias de la materia prima, lo que resalta la importancia de optimizar los protocolos en función de cada contexto enológico (Maicas y Mateo, 2023) (Figura N° 4).

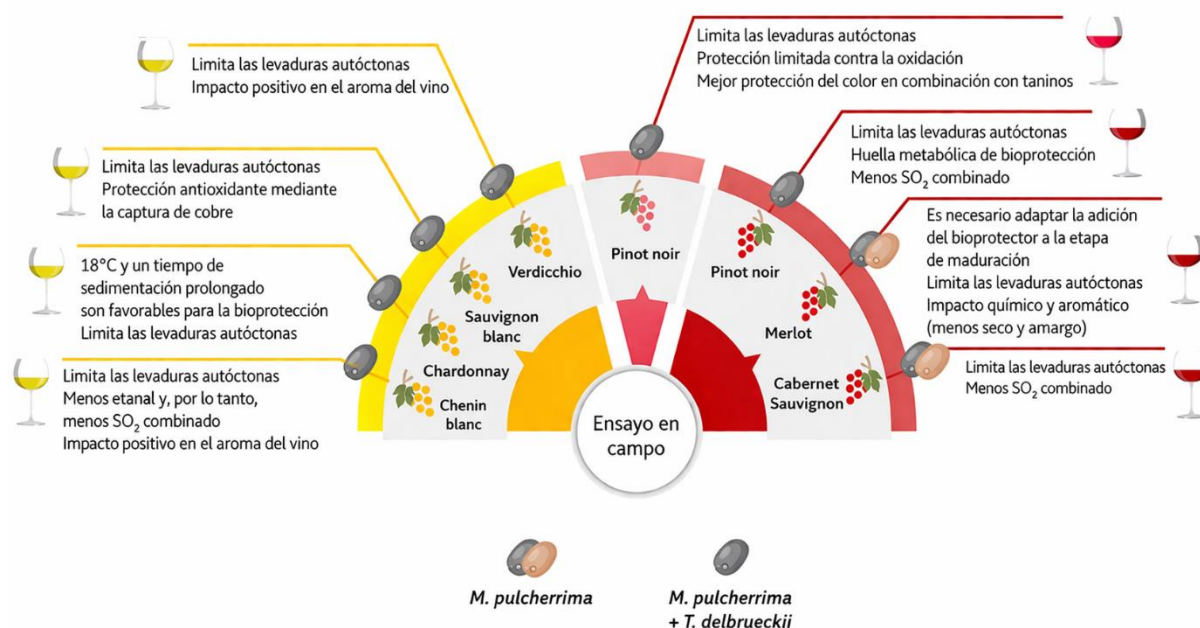


Figura N° 3: Influencia de dos cepas utilizadas en bioprotección según tipo de varietal.

Fuente: Modificado de <https://laffort.com/es/bioprotection/>.

2-8- ¿Qué mecanismos específicos de *Metschnikowia pulcherrima* están involucrados en la bioprotección?

Las condiciones enológicas influyen de manera significativa sobre ecosistemas microbianos complejos, compuestos principalmente por levaduras y bacterias. En este contexto, el estudio de las interacciones que se establecen entre estos microorganismos, tanto en el mosto como durante la fermentación alcohólica, resulta fundamental para comprender y optimizar estrategias como la bioprotección. Una comprensión profunda de estas dinámicas microbianas permite mejorar el control del proceso fermentativo y minimizar desviaciones que afecten la calidad del vino (Maicas y Mateo, 2023).

Las interacciones microbianas pueden clasificarse en indirectas y directas. Entre las primeras se incluyen la competencia por nutrientes y la producción de compuestos con actividad antimicrobiana, mientras que las interacciones directas involucran mecanismos como el contacto célula-célula (Bordet y col., 2020; Zilelidou y Nisiotou, 2021).

Asimismo, estas interacciones pueden ser de tipo positivo, neutro o negativo, dependiendo de los efectos que generan sobre las poblaciones involucradas. En algunos casos, ambas poblaciones pueden beneficiarse, mientras que en otros una de ellas puede verse perjudicada o no experimentar cambios significativos. Estas relaciones pueden ser también asimétricas, cuando una población obtiene beneficios mientras que la otra resulta afectada negativamente o permanece sin modificaciones. Los efectos derivados de estas interacciones impactan en distintos niveles de la dinámica poblacional, pudiendo modificar parámetros de crecimiento como la fase de latencia, la velocidad máxima de crecimiento (μ_{max}) o la densidad poblacional alcanzada. Asimismo, pueden influir sobre el metabolismo microbiano, afectando la producción de metabolitos relevantes durante la fermentación (Sadoudi y Medjebar, 2018; Bordet y col., 2023) (Figura N° 5).

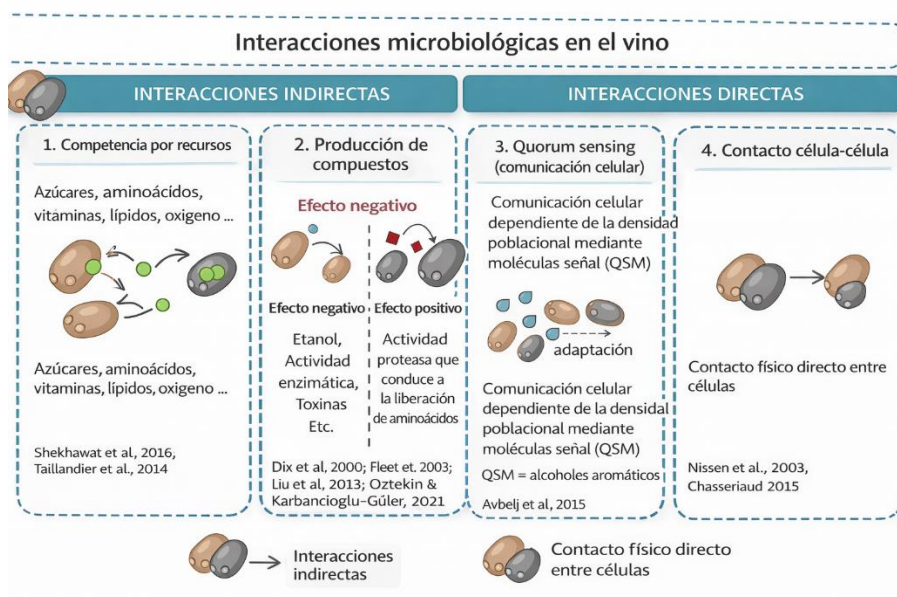


Figura N° 4: Interacciones microbiológicas en el vino.

Fuente: Modificado de <https://laffort.com/es/bioprotection/>.

2-9- Bioprotección en material

La bioprotección, inicialmente aplicada sobre la uva o el mosto, puede extenderse también al conjunto del equipamiento utilizado durante la vendimia y la recepción en bodega, incluyendo vendimiadoras, tolvas, remolques, despalladoras, mesas de selección y depósitos, es decir, cualquier superficie en contacto con la materia prima. Esta estrategia permite ampliar el control microbiológico más allá del mosto, actuando desde las primeras etapas del proceso (<https://laffort.com/es/bioprotection/>).

El principio de aplicación es sencillo y consiste en la pulverización de preparados bioprotectores, como ZYMAFLORE ÉGIDE, sobre las superficies del equipamiento. A partir de esta aplicación, se produce una colonización progresiva por parte de las levaduras seleccionadas, las cuales compiten con la microbiota ambiental, limitando el desarrollo de microorganismos indeseables durante toda la

jornada de vendimia. Las evidencias experimentales muestran el impacto de esta estrategia sobre la carga microbiológica presente en la uva y en los equipos. En la Figura N° 6, correspondiente a una muestra sin aplicación de bioprotección, se observa una elevada presencia de mohos y otros microorganismos no deseados. En contraste, en la Figura N° 7, donde se aplicó bioprotección con ZYMAFLORE ÉGIDE, se evidencia la ausencia de mohos, junto con una colonización efectiva por levaduras del preparado, identificadas y cuantificadas mediante técnicas de biología molecular como PCR.

Estos resultados ponen de manifiesto la eficacia de la bioprotección aplicada al equipamiento como herramienta complementaria para el control microbiológico en enología, contribuyendo a mejorar las condiciones sanitarias y a reducir riesgos de contaminación durante el procesamiento de la vendimia.



Figura N° 5: Muestras sin bioprotección, donde se observa una importante presencia de mohos y de microorganismos no deseados en uva.

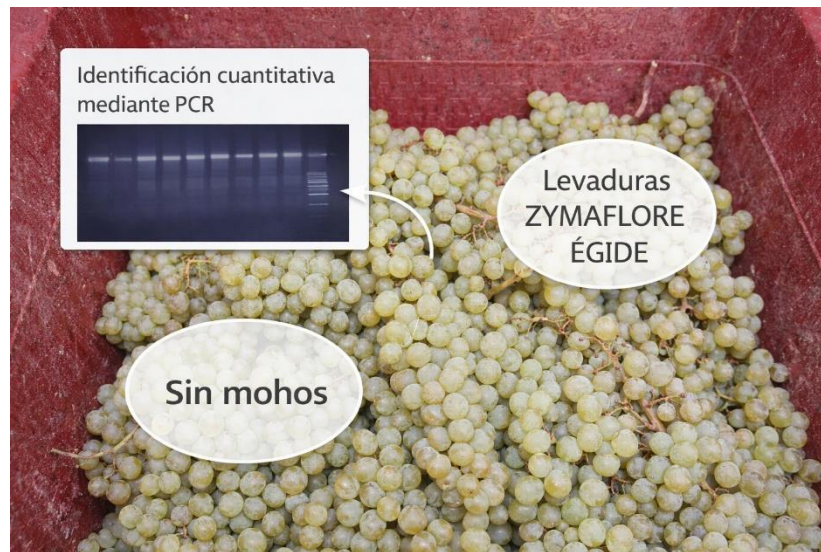


Figura N° 6: Aplicación con ZYMAFLORE ÉGIDE y observación de ausencia de mohos, con una colonización progresiva de levaduras (identificadas y cuantificadas mediante PCR).

CAPÍTULO 3: VARIEDAD PEDRO GIMÉNEZ

La variedad Pedro Giménez es una cepa criolla blanca ampliamente cultivada en Argentina, con mayor presencia en las provincias de Mendoza y San Juan. Históricamente, ha sido la variedad blanca con mayor superficie implantada destinada a vinificación, aunque en las últimas décadas se ha observado una disminución progresiva de su superficie cultivada. Se utiliza principalmente para la elaboración de vinos blancos genéricos y se caracteriza por su elevada productividad, aunque presenta susceptibilidad a enfermedades como la peronóspora (Instituto Nacional de Vitivinicultura, 2019).

Es importante destacar que esta variedad no corresponde a la cepa española conocida como Pedro Ximénez, a pesar de la similitud en su denominación. Estudios ampelográficos y genéticos han demostrado que se trata de cultivares diferentes. En particular, se ha descartado su identificación con la variedad Blanca Temprana de Almería, debido a diferencias morfológicas, especialmente en la forma de las bayas, la consistencia de la pulpa y el momento de brotación, que en Pedro Giménez es más tardío (Instituto Nacional de Vitivinicultura, 2019).

Investigaciones recientes basadas en el análisis de marcadores moleculares han permitido esclarecer el origen genético de esta variedad, indicando que las cepas criollas americanas, incluyendo Pedro Giménez, derivan del cruzamiento entre Moscatel de Alejandría y Criolla Chica. En este contexto, se ha establecido una relación de parentesco tipo padre-hijo entre Pedro Giménez y estas variedades, siendo Criolla Chica la progenitora femenina más probable. Desde el punto de vista morfológico, Pedro Giménez se distingue por presentar brotes con tonalidades cobrizas, hojas glabras con pigmentación rojizo-violácea en el punto peciolar y en la

base de las nervaduras, y bordes con dientes pequeños y numerosos que le confieren un aspecto aserrado. Los racimos son de tamaño grande, generalmente ramificados, y las bayas son esféricas, de color dorado en estado de madurez (Instituto Nacional de Vitivinicultura, 2019). (Figura N° 8).



Figura N° 7: Hoja típica y racimo de Pedro Giménez.

3-1- Superficie

La variedad Pedro Giménez ocupa el séptimo lugar entre las variedades más cultivadas en Argentina y se posiciona como la principal variedad blanca destinada a vinificación. En el año 2018, se registró una superficie total de 10.249 hectáreas implantadas, lo que representa el 4,7 % de la superficie vitícola nacional.

Su cultivo se concentra principalmente en las provincias de Mendoza y San Juan, que reúnen el 76,2 % y el 22,7 % de la superficie total, respectivamente. No obstante, esta variedad también se encuentra presente en otras regiones del país, destacándose las provincias de Río Negro y La Rioja, aunque con una participación significativamente menor. En términos de evolución, la superficie implantada con Pedro Giménez ha experimentado una disminución sostenida en el período comprendido entre los años 2000 y 2018, con una reducción total del 32,1 % (equivalente a 4.851 hectáreas). Esta tendencia decreciente se observa en las principales regiones productoras, registrándose una disminución del 33,3 % en Mendoza, del 24,7 % en San Juan y del 64 % en el resto de las provincias (Instituto Nacional de Vitivinicultura, 2019) (Tabla N° 5, Figura N° 9).

Tabla 4. Porcentaje implantado con Pedro Giménez respecto al total, por provincia.

Provincia	PEDRO GIMÉNEZ	% superficie total PEDRO GIMÉNEZ país	Superficie total de vid por provincia	% VARIEDAD PEDRO GIMÉNEZ sobre total provincial
MENDOZA	7.811	76,2	153.029	5,1
SAN JUAN	2.328	22,7	46.667	5,0
RIO NEGRO	69	0,7	1.618	4,3
LA RIOJA	24	0,2	7.809	0,3
CATAMARCA	13	0,1	2.827	0,5
LA PAMPA	4	0,04	275	1,3
SALTA	1	0,01	3.370	0,04
OTRAS PROVINCIAS	-	-	2.637	-
Total	10.249	100	218.233	4,7

Nota: datos provinciales y nacionales de variedad Pedro Giménez.

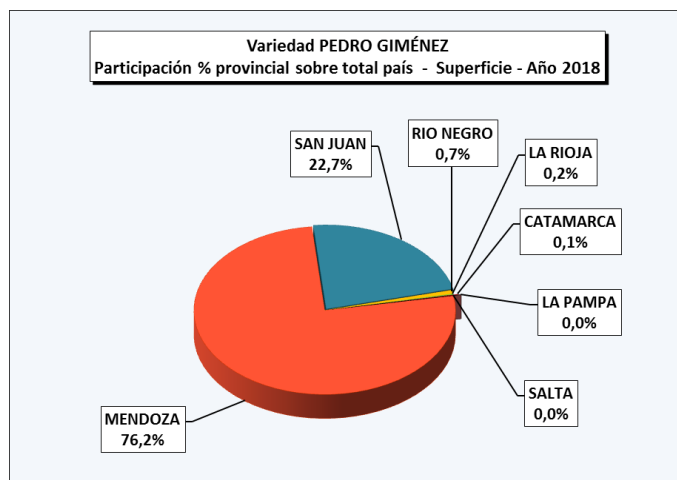


Figura N° 8: participación porcentual por provincia sobre el total del país.

De las 7.811 hectáreas implantadas con la variedad Pedro Giménez en la provincia de Mendoza, el departamento de San Martín concentra la mayor superficie, con 1.832 hectáreas, lo que representa el 23,5 % del total provincial y el 6,4 % de la superficie vitícola del departamento. Asimismo, esta variedad presenta una distribución significativa en otros departamentos de la provincia, destacándose Lavalle con 1.297 hectáreas (16,6 % del total provincial), Rivadavia con 1.245 hectáreas (15,9 %), Junín con 886 hectáreas (11,3 %) y San Rafael con 619 hectáreas (7,9 %) (Instituto Nacional de Vitivinicultura, 2019) (Tabla N° 6).

Tabla 5. Porcentaje implantado con Pedro Giménez respecto al total, por departamento.

Departamento	PEDRO GIMÉNEZ	% superficie total PEDRO GIMÉNEZ	Superficie total departamento	Part. % VARIEDAD PEDRO GIMÉNEZ sobre total departamental
SAN MARTIN	1.832	23,5	28.423	6,4
LAVALLE	1.297	16,6	13.485	9,6
RIVADAVIA	1.245	15,9	15.284	8,1
JUNIN	886	11,3	11.477	7,7
SAN RAFAEL	619	7,9	13.224	4,7
SANTA ROSA	552	7,1	9.368	5,9
MAIPU	523	6,7	11.710	4,5
LUJAN DE CUYO	261	3,3	15.543	1,7
LAS HERAS	198	2,5	1.489	13,3
GENERAL ALVEAR	134	1,7	3.916	3,4
SAN CARLOS	83	1,1	8.613	1,0
TUNUYAN	62	0,8	9.574	0,6
TUPUNGATO	58	0,7	10.056	0,6
GUAYMALLEN	49	0,6	591	8,2
LA PAZ	13	0,2	275	4,7
GODOY CRUZ	-	-	1	-
Total	7.811	100	153.029	5,1

Nota: datos departamentales de variedad Pedro Giménez.

3-2- Sistema de conducción

La variedad Pedro Giménez se caracteriza por presentar un alto rendimiento productivo, particularmente cuando es conducida bajo el sistema de parral, el cual favorece una mayor carga de producción. En la provincia de San Juan, este sistema de conducción predomina ampliamente, ya que aproximadamente el 99 % de la superficie implantada con esta variedad se maneja bajo parral, manteniéndose este patrón de forma homogénea en las distintas localidades. En contraste, en la provincia de Mendoza, menos del 70 % de la superficie cultivada con Pedro Giménez se encuentra bajo este sistema, evidenciando una mayor variabilidad según el departamento.

En este sentido, se observan diferencias significativas a nivel regional dentro de Mendoza, donde departamentos como La Paz y General Alvear presentan porcentajes considerablemente menores de conducción en parral, con valores de 34,5 % y 34,8 %, respectivamente (Instituto Nacional de Vitivinicultura, 2019) (Tabla N° 7).

Tabla 6. Superficie implantada con Pedro Giménez por departamento.

Departamento	Superficie PEDRO GIMÉNEZ del departamento	PARRAL	ESPALDERA	OTROS	% Parral s/total superficie PEDRO GIMÉNEZ
SAN MARTIN	1.832	1.350	480	2	73,7
LAVALLE	1.297	700	582	15	54,0
RIVADAVIA	1.245	923	322	-	74,1
JUNIN	886	660	227	-	74,4
SAN RAFAEL	619	285	333	1	46,0
SANTA ROSA	552	381	169	3	68,9
MAIPU	523	344	179	1	65,7
LUJAN DE CUYO	261	221	40	-	84,6
LAS HERAS	198	143	55	-	72,3
GENERAL ALVEAR	134	47	87	-	34,8
SAN CARLOS	83	34	49	-	41,1
TUNUYAN	62	50	12	-	81,3
TUPUNGATO	58	52	6	-	88,9
GUAYMALLEN	49	35	14	0,02	71,1
LA PAZ	13	4	8	-	34,5
Total	7.811	5.227	2.563	21	66,9

Nota: datos departamentales de variedad Pedro Giménez.

3-3- Producción

En el año 2018, la producción nacional de uva de la variedad Pedro Giménez alcanzó los 1.490.153 quintales, posicionándose en el quinto lugar dentro del ranking de variedades a nivel país y representando aproximadamente el 6 % del total de uva cosechada. La producción se concentra principalmente en las provincias de Mendoza y San Juan, que en conjunto aportan el 99,8 % del total nacional. En particular, Mendoza contribuye con el 66 % de la producción, mientras que San Juan representa el 33,8 % restante.

Cabe destacar que, si bien Mendoza concentra el 76,2 % de la superficie cultivada con esta variedad, su participación en la producción es proporcionalmente

menor. En contraste, San Juan, con el 22,7 % de la superficie, presenta una participación relativa mayor en términos productivos, lo que podría asociarse a diferencias en los rendimientos por hectárea y en las condiciones agroecológicas entre ambas regiones (Instituto Nacional de Vitivinicultura, 2019) (Tabla N° 8).

Tabla 7. producción por variedad año 2018 a nivel nacional.

Variedad	Producción	Participación variedad - %
CEREZA	5.092.115	19,8
MALBEC	4.121.573	16,0
CRIOLLA GRANDE	2.517.261	9,8
BONARDA	2.317.348	9,0
PEDRO GIMENEZ	1.490.153	5,8
SYRAH	1.325.845	5,2
CABERNET SAUVIGNON	1.109.125	4,3
TORRONTES RIOJANO	1.082.602	4,2
TEMPRANILLO	657.799	2,6
CHARDONNAY	630.063	2,4
FLAME SEEDLESS	534.137	2,1
ASPIRANT BOUSCHET	443.009	1,7
MOSCATEL ROSADO	438.547	1,7
OTRAS VARIEDADES	3.973.538	15,4
Total, Producción	25.733.114	100

Nota: producción variedad Pedro Giménez, año 2018.

CAPÍTULO 4: HIPÓTESIS, OBJETIVOS, TIPO DE INVESTIGACIÓN Y METODOLOGÍA

Hipótesis general

La aplicación de estrategias de bioprotección antes de la fermentación alcohólica permite reemplazar completamente el uso de anhídrido sulfuroso en la elaboración de un vino blanco variedad Pedro Giménez, obteniendo un producto con calidad química y sensorial, inocuidad y estabilidad comparables a las de una vinificación tradicional, sin un incremento significativo en los costos de elaboración.

Objetivo general

Evaluar la factibilidad de reemplazar completamente el uso de anhídrido sulfuroso durante la fermentación alcohólica mediante la aplicación de estrategias de bioprotección en la elaboración de un vino blanco variedad Pedro Giménez.

Objetivos específicos

1. Comparar la evolución de los parámetros fisicoquímicos del vino elaborado mediante vinificación tradicional y mediante aplicación de bioprotección durante la fermentación alcohólica.
2. Evaluar el perfil sensorial de los vinos obtenidos por ambos tratamientos mediante el análisis sensorial descriptivo.
3. Analizar la estabilidad microbiológica e inocuidad de los vinos elaborados con bioprotección en comparación con el testigo.
4. Comparar los costos de elaboración de la vinificación tradicional y la vinificación con aplicación de bioprotección.

4-1-Tipo de investigación

El presente trabajo se enmarca en una investigación con **enfoque cuantitativo**, ya que se basa en la medición y análisis de variables fisicoquímicas, microbiológicas y sensoriales. En cuanto a su alcance, se trata de una investigación de tipo **aplicado**, dado que busca generar conocimiento práctico transferible a la industria vitivinícola.

Asimismo, el diseño de la investigación es **experimental y comparativo**, ya que se evalúan dos tratamientos bajo condiciones controladas con el fin de analizar los efectos de la aplicación de bioprotección como variable independiente sobre distintas variables de respuesta.

4-2- Metodología y Diseño Experimental

El desarrollo experimental consistió en la elaboración de vino blanco tecnológico de la variedad Pedro Giménez mediante la aplicación de estrategias de bioprotección como alternativa al uso de anhídrido sulfuroso durante la fermentación alcohólica.

Para ello, se realizaron dos vinificaciones en paralelo: un tratamiento testigo, elaborado bajo condiciones tradicionales con adición de SO₂, y un tratamiento experimental en el que se aplicó bioprotección sin agregado de sulfuroso en la etapa fermentativa. Ambos tratamientos se llevaron a cabo bajo condiciones equivalentes de vinificación, con el fin de permitir una comparación directa entre los resultados obtenidos.

El objetivo del ensayo fue evaluar la factibilidad de reemplazar el uso de anhídrido sulfuroso mediante la aplicación de bioprotección, analizando su impacto sobre la evolución del proceso fermentativo, la calidad fisicoquímica, la estabilidad

microbiológica y el perfil sensorial del vino. Asimismo, se buscó determinar si esta estrategia permite obtener un producto final sin defectos, con adecuada estabilidad y con una reducción significativa en el contenido de SO₂ total.

Las vinificaciones se realizaron a escala industrial, utilizando uvas provenientes de distintos sectores del departamento Junín (Mendoza), correspondientes a una cosecha anticipada de uvas blancas con un tenor azucarino comprendido entre 18 y 21 °Brix. El volumen elaborado fue de 30.000 L por tratamiento, equivalente a aproximadamente 37.500 kg de uva (375 qq), considerando un rendimiento de vendimia de 125/100 correspondiente al establecimiento Cooperativa de Productores de Junín.

4-3- Selección de unidad de análisis y muestras para el ensayo

La unidad de análisis estuvo constituida por el vino blanco variedad Pedro Giménez obtenido bajo dos modalidades de vinificación: con aplicación de bioprotección y vinificación tradicional (testigo).

Las muestras se tomaron en tres momentos del proceso: al inicio de la fermentación (encubado), aproximadamente al 50 % de su desarrollo y al finalizar la fermentación alcohólica, cuando el contenido de azúcares residuales fue inferior a 1,8 g/L.

La materia prima utilizada provino de distintos sectores del departamento de Junín (Mendoza), correspondientes a una cosecha anticipada de uvas blancas con un tenor azucarino comprendido entre 18 y 21 °brix. Las elaboraciones se realizaron a escala industrial, con un volumen de 30.000 L por tratamiento (375 qq; 37.500 kg de uva), a fin de garantizar la representatividad de los resultados y su aplicabilidad a condiciones reales de producción.

4-4- Desarrollo del proceso de vinificación

Previo al ingreso de la materia prima, a partir del 29/01/2025 se realizaron controles periódicos con el objetivo de determinar el momento óptimo de cosecha. Estos controles incluyeron la evaluación del tenor azucarino, la concentración de azúcares, la acidez y el alcohol probable, así como el estado sanitario de la uva como parámetro complementario.

La elaboración se inició el día 19/02/2025 con la recepción de la materia prima, seguida de las operaciones de molienda y despallado. El mosto gota, obtenido por escurrido, fue conducido por desnivel hacia una vasija pulmón, donde se realizó la toma de muestra y el test de pectinas. A partir de este análisis, se determinó la adición de una enzima pectolítica comercial (Rapidase Clear) en una dosis de 4 mL/hL, con el fin de favorecer el proceso de desfangado por flotación.

El desfangado se llevó a cabo mediante flotación, utilizando un equipo flotador portátil con un caudal de 250 hL/h, en vasijas de 300 hL. Como coadyuvante del proceso se empleó gelatina vegetal (E-GEL) en una dosis de 20 mL/hL, y nitrógeno (N₂) como gas de presurización. Durante el proceso, el mosto fue recirculado durante 90 minutos y posteriormente se dejó en reposo entre 30 y 45 minutos. Finalizado este período, se procedió a la extracción del mosto limpio ("claro") para su encubado en la vasija de fermentación. Una vez encubado el mosto, se realizó la primera toma de muestra para los análisis correspondientes.

Una vez encubado, se efectuaron las correcciones de pH y acidez mediante el agregado de un 5 % de vino pasado por columna de intercambio iónico (pH= 2,2) y 1 g/L de ácido tartárico. Posteriormente se procedió a la aplicación de la bioprotección mediante el agregado de **ZYMAFLORE KHIO**, un preparado comercial de Laffort S.A., el cual contiene una cepa de *Metschnikowia pulcherrima* y es específico para mostos

blancos y rosados.

Para la siembra de *Metschnikowia pulcherrima*, se trabajó con una dosis de 5 g/hL. La rehidratación se realizó siguiendo las recomendaciones del fabricante: en una relación de 1:20 con agua no clorada a una temperatura entre 25 a 30 °C, adicionando 500 g de azúcar por kg de levadura. La siembra en la vasija de fermentación se efectuó teniendo en cuenta que el diferencial térmico entre la LSA rehidratada y el mosto no excediera los 5 °C.

Al día siguiente se realizó la inoculación de levaduras *Saccharomyces cerevisiae* (LSA, marca comercial BY), utilizando una dosis de 20 g/hL y se adicionaron nutrientes inorgánicos (difosfato de amonio, DAP). El primer agregado fue de 50g/hL, mientras que las dos nutriciones posteriores se incorporaron en función de los requerimientos de nitrógeno fácilmente asimilable (NPA), antes de alcanzar el último tercio de la fermentación alcohólica.

Durante el desarrollo de la fermentación alcohólica se realizaron controles diarios de temperatura, manteniéndose entre 17 y 20 °C mediante el uso de serpentines de acero inoxidable. Al tercer día de iniciada la fermentación, se aplicaron tratamientos de clarificación utilizando dos clarificantes comerciales: BIODECORCEL y polivinilpolipirrolidona (PVPP). BIODECORCEL está compuesto carbón enológico decolorante, albúmina de huevo, bentonita y enzima β -glucanasa; mientras que el PVPP cumple una función clarificante y antioxidante. Las dosis empleadas fueron de 30 g/hL para BIODECORCEL y 10 g/hL para PVPP.

La segunda muestra fue tomada aproximadamente al 50 % de la fermentación alcohólica, mientras que la tercer y última muestra se obtuvo cuando las vasijas llegaron a tener rastros de azúcar (menos de 1,8 g/L de azúcar residual).

Cada una de estas tres muestras se analizó química, sensorial y microbiológicamente, durante el encubado, fermentación y vino terminado para poder realizar un análisis comparativo entre el vino testigo y el vino con bioprotección.

Finalizada la fermentación alcohólica, el vino fue trasegado y se realizó la primera corrección de anhídrido sulfuroso en ambos tratamientos. Al cabo de un mes, el vino fue filtrado mediante sistema de filtración tangencial y se estabilizó según prácticas enológicas habituales (corrección final de SO₂ molecular a 0,6 mg/l y agregado de 5 mg/l de ácido ascórbico como antioxidante).

CAPÍTULO 5: RESULTADOS

5-1- Primera etapa: control de madurez y caracterización inicial del mosto

Previo a la elaboración, se realizaron controles de madurez con el objetivo de determinar el momento óptimo de cosecha de la variedad Pedro Giménez. La toma de muestra se realizó de manera representativa en los diferentes viñedos.

El procedimiento realizado por el Ingeniero es el siguiente:

- Dividir el viñedo en sectores homogéneos.
- Recorrer las parcelas en zigzag.
- Seleccionar plantas al azar (50 a 100 plantas representativas).
- Tomar bayas de diferentes posiciones.
- Selección de unas 200 bayas aproximadamente.
- Conservar y trasladar la muestra.

Los parámetros evaluados incluyeron tenor azucarino, acidez, alcohol probable, entre otros, permitiendo seleccionar uvas con valores comprendidos entre 18 y 21 °Brix, adecuados para la elaboración de vinos blancos tecnológicos (Tabla N° 9, 10 y 11).

Tabla 8. Primer control de madurez. 29/01/2025.

PRODUCTOR	ACIDEZ TOTAL	AC. GLUCÓNICO	AC. MÁLICO	ALCOHOL PROBABLE	AZUCAR	BRIX	PH
ROYO	8,48	0,36	1,9	8,21	138,2	15,2	3,22
MAZZA	15,75	0,75	8,11	6,28	105,7	12,2	3,08
COPPARI	17,5	0,51	6,7	6,35	107	12,4	3,01

Nota: control de madurez en materia prima, primera etapa.

Tabla 9. Segundo control de madurez. 06/02/2025.

PRODUCTOR	ACIDEZ TOTAL	AC. GLUCÓNICO	NPA	ALCOHOL PROBABLE	AZUCAR	BRIX	PH
ROYO	5,97	0,26	70	9,66	162,6	17,4	3,37
MAZZA	7,8	0,54	39	7,56	127,3	14,2	3,19
COPPARI	6,12	0,35	56	8,47	142,6	16,6	3,31

Nota: control de madurez en materia prima, segunda etapa.

Tabla 10. Tercer control de madurez. 15/02/2025.

PRODUCTOR	ACIDEZ TOTAL	AC. GLUCÓNICO	NPA	ALCOHOL PROBABLE	AZUCAR	BRIX	PH
ROYO	5,1	0,21	119	11,4	191,2	20	3,46
MAZZA	5,8	0,82	61	9,53	160,4	17,2	3,26
COPPARI	4,5	0,42	87	10,19	171,5	18,2	3,47

Nota: control de madurez en materia prima, etapa final.

Se observa una evolución progresiva de la madurez, con incremento del contenido de azúcares y disminución de la acidez, lo que permitió definir el momento óptimo de cosecha.

Durante el procesamiento del mosto, se llevó a cabo el desfangado mediante flotación, observándose una reducción significativa de la turbidez. El mosto de entrada presentó un valor de 284 NTU, mientras que luego del proceso se obtuvo un mosto con 22 NTU, evidenciando la eficiencia del tratamiento de clarificación aplicado.



Figura N° 9: Observación del mosto durante el proceso de flotación. Fotografía propia.

5-2- Segunda etapa: evolución de la fermentación alcohólica

Durante el desarrollo de la fermentación alcohólica se realizó el seguimiento de los principales parámetros fisicoquímicos en ambos tratamientos (testigo y bioprotección), con el fin de evaluar el comportamiento fermentativo (Tabla N° 12, Figura N° 11, Tabla N° 13 y Figura N°12).

La toma de muestra de ambas vasijas se realizó de manera representativa, higiénica, evitando contaminar y alterar dichas muestras. El procedimiento se realizó de la siguiente manera:

- Identificación de vasija y envase de contención de muestra.
- Selección de punto de extracción (parte superior, media e inferior).
- Recolección de las muestras.
- Rotular envase (botella).
- Realización de los análisis

Tabla 11. Control de fermentación del testigo.

FECHA	HORA	°Be	T°
20/2/25	07:30	10,2	21
	21:00	9,4	19
21/2/25	07:30	8,4	20,5
	20:00	7,8	19
22/2/25	07:30	6,8	18,5
	20:30	5,6	19
23/2/25	08:00	5	17
	20:00	4	19
24/2/25	10:00	3,6	18
	20:00	2,6	19
25/2/25	08:00	1,8	19,5
	20:30	1	19
26/2/25	07:30	0,4	18,5
27/2/25	08:00	0	18

Nota: datos del desarrollo de la fermentación testigo

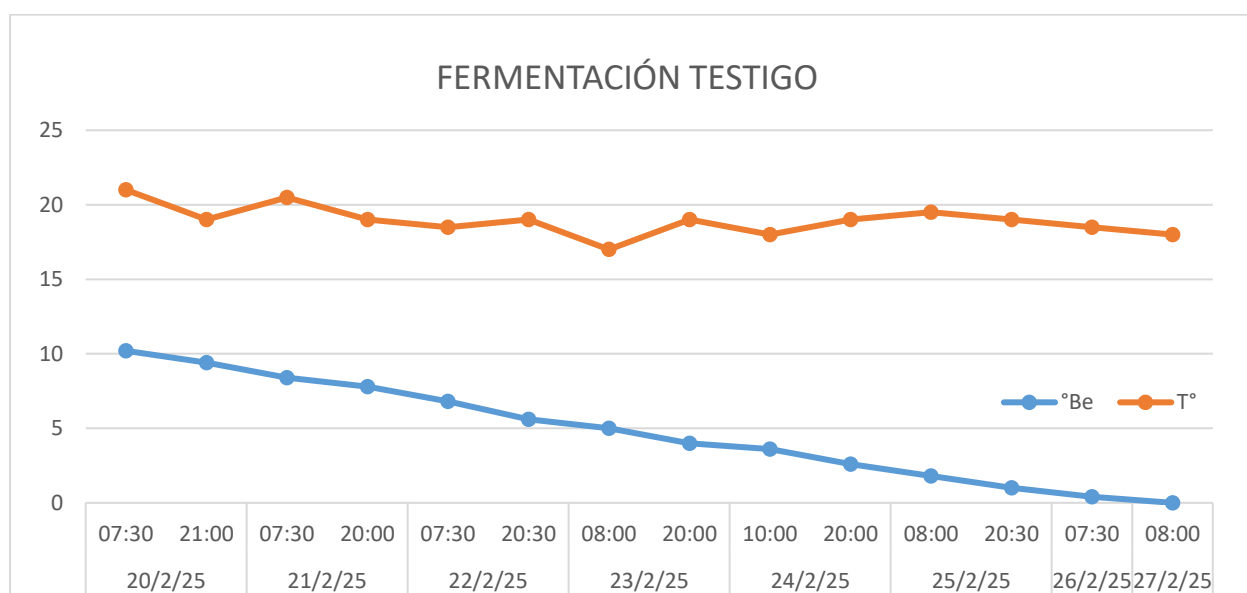
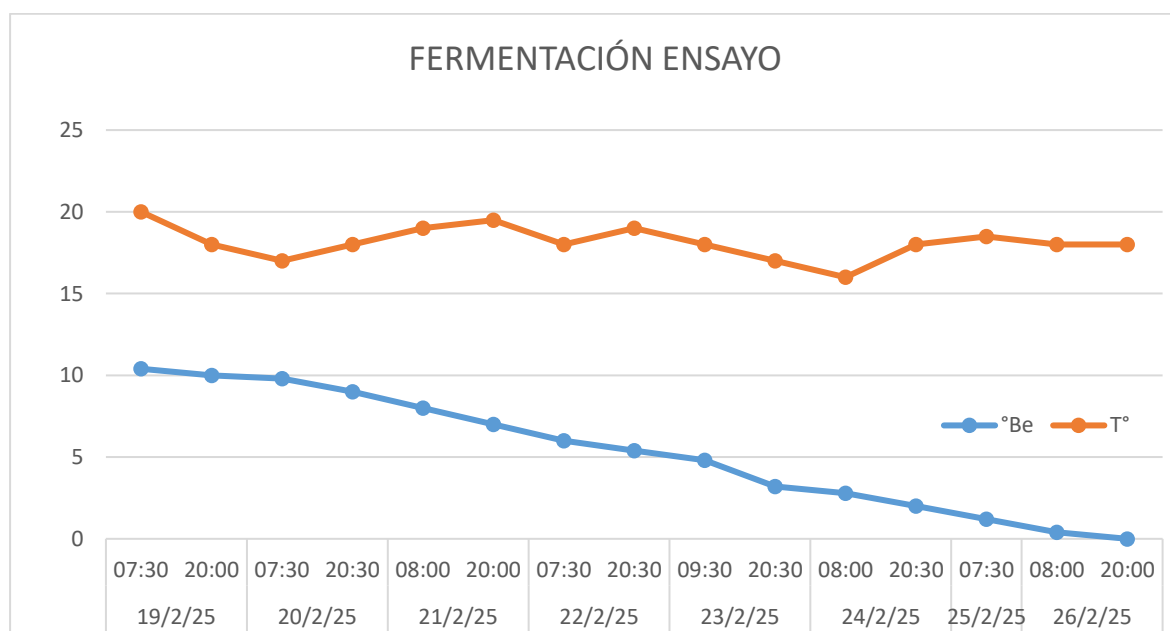


Figura N° 10: Evolución de la fermentación alcohólica en el tratamiento testigo.

Tabla 12. Control de fermentación del ensayo.

FECHA	HORA	°Be	T°
19/2/25	20:00	10,4	20
20/2/25	07:30	9,8	17
	20:30	9	18
21/2/25	08:00	8	19
	20:00	7	19,5
22/2/25	07:30	6	18
	20:30	5,4	19
23/2/25	09:30	4,8	18
	20:30	3,2	17
24/2/25	08:00	2,8	16
	20:30	2	18
25/2/25	07:30	1,2	18,5
26/2/25	08:00	0,4	18
	20:00	0	18

Nota: datos del desarrollo de la fermentación de ensayo.

**Figura N° 11:** Evolución de la fermentación alcohólica en el ensayo.

En ambos tratamientos se observó una disminución progresiva del contenido de azúcares (°Bé) y un comportamiento térmico estable, indicando un adecuado desarrollo de la fermentación alcohólica. No se registraron desviaciones significativas en la cinética fermentativa, lo que demuestra que la aplicación de bioprotección no afectó negativamente el proceso.

Asimismo, se evidenció una cinética levemente más rápida en el tratamiento con bioprotección, con una reducción más acelerada de azúcares en las etapas intermedias del proceso, lo que podría asociarse a mejores condiciones microbiológicas iniciales.

5-3- Evaluación microbiológica durante la fermentación

La definición operacional de las variables es la forma concreta en la que una investigación define, mide y evalúa cada variable. Las variables independientes, son los factores que se modifican, en nuestro trabajo sería el ensayo, vasija con agregado de bioprotección sin agregado de anhídrido y la vasija testigo con anhídrido y sin bioprotección. Mientras que las variables dependientes son aquellas que se pueden medir para evaluar el efecto del ensayo, como por ejemplo microbiológicas, fisicoquímicas y sensoriales del vino obtenido.

Se realizaron observaciones microscópicas y análisis fisicoquímicos en distintas etapas del proceso con el objetivo de evaluar la dinámica poblacional de levaduras en ambos tratamientos.

5-3-1. Etapa inicial de fermentación

En la observación inicial, correspondiente al día 20/02/2025, se evidenció una diferencia morfológica significativa entre ambos tratamientos. En el ensayo con

bioprotección (vasija N° 69) se observaron levaduras del género *Metschnikowia*, caracterizadas por células ovoides a elipsoides, con estructuras gruesas, esféricas, de color crema y altamente refringentes, indicativas de una correcta implantación de la bioprotección.

En contraste, el tratamiento testigo (vasija N° 67) presentó abundante presencia de levaduras genéricas de la microbiota autóctona (Figura N° 13 y 14).

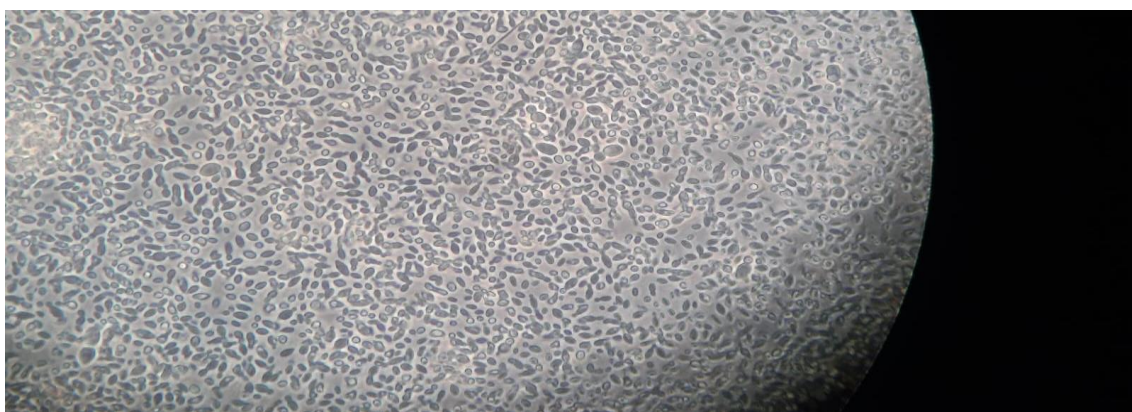


Figura N° 12: Observación microscópica previa a la F.A sin implantación de bioprotección. Fotografía propia.



Figura N° 13: Observación microscópica con aplicación de bioprotección. Fotografía propia.

Desde el punto de vista químico, se observaron diferencias iniciales entre tratamientos, destacándose una mayor acidez total y menor pH en el ensayo, lo que podría contribuir a un mayor control microbiológico (Tabla N° 14).

Tabla 13. Parámetros iniciales: testigo vs ensayo

FECHA	20/2/2025
VASIJA N°	67
MUESTRA N°	TESTIGO
MUESTRA N°	55581
TIPO VINO	BLANCO
Alcohol v/v	0
Azúcar g/L	162,5
Ac. Total g/L	4,59
Ac. Volátil g/L	0,06
Anhídrido sulfuroso total mg/L	25
Anhídrido sulfuroso libre mg/L	10
pH	3,5

Observaciones:
ABUNDANTES LEVADURAS
GENÉRICAS

FECHA	20/2/2025
VASIJA N°	69
MUESTRA N°	ENSAYO
MUESTRA N°	55582
TIPO VINO	BLANCO
Alcohol v/v	1
Azúcar g/L	147,5
Ac. Total g/L	5,73
Ac. Volátil g/L	0,11
Anhídrido sulfuroso total mg/L	32
Anhídrido sulfuroso libre mg/L	12
pH	3,3

Observaciones:
ABUNDANTES LEVADURAS **SELECCIONADAS**

Nota: comparación analítica y microbiológica entre el testigo y el ensayo.

5-3-2. Etapa intermedia de fermentación

En la segunda observación (24/02/2025), ambas vasijas presentaron levaduras con morfología similar, correspondientes a la cepa de *Saccharomyces cerevisiae* inoculada. Sin embargo, se evidenció una mayor cantidad de células en el tratamiento con bioprotección, lo que sugiere que esta estrategia favoreció la multiplicación de levaduras fermentativas. (Figura N° 15 y 16).

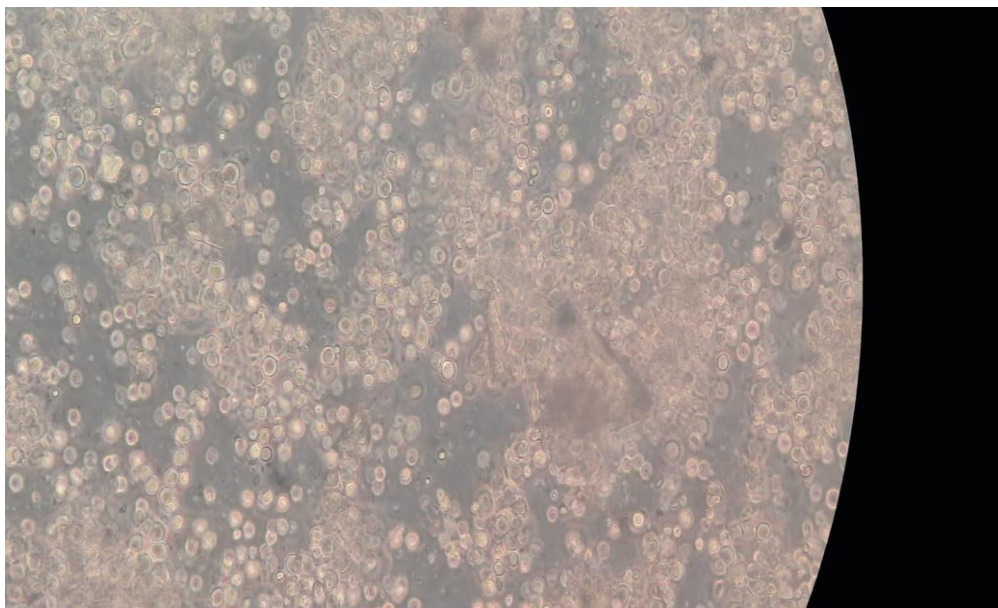


Figura N° 14: Observación microscópica del testigo promediando la F.A. fotografía propia.

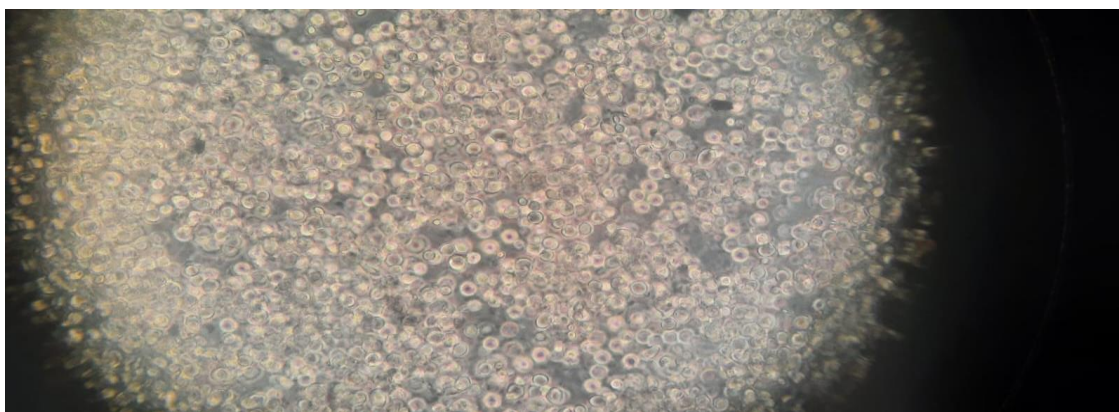


Figura N° 15: Observación microscópica del ensayo promediando la F.A. fotografía propia.

Desde el punto de vista químico, el ensayo presentó menor concentración de azúcares y mayor contenido alcohólico en comparación con el testigo, lo que refuerza la hipótesis de una fermentación más eficiente (Tabla N° 15).

Tabla 14. Parámetros intermedios: testigo vs ensayo.

FECHA	24/2/2025
VASIJA N°	67
MUESTRA N°	TESTIGO
MUESTRA N°	55599
TIPO VINO	BLANCO
Alcohol v/v	6,3
Azúcar g/L	56,4
Ac. Total g/L	6,12
Ac. Volátil g/L	0,12
Anhídrido sulfuroso libre mg/L	25
Anhídrido sulfuroso total mg/L	12
pH	3,37

FECHA	24/2/2025
VASIJA N°	69
MUESTRA N°	ENSAYO
MUESTRA N°	55600
TIPO VINO	BLANCO
Alcohol v/v	8
Azúcar g/L	29,8
Ac. Total g/L	6,65
Ac. Volátil g/L	0,12
Anhídrido sulfuroso libre mg/L	25
Anhídrido sulfuroso total mg/L	12
pH	3,26

Observaciones:

ABUNDANTES LEVADURAS EN GEMACIÓN +

Observaciones:

ABUNDANTES LEVADURAS EN GEMACIÓN +

Nota: comparación analítica y microbiológica entre el testigo y el ensayo.

Asimismo, se observó que las levaduras utilizadas en bioprotección presentan baja tolerancia al alcohol (3–5 % v/v), siendo progresivamente reemplazadas por *Saccharomyces cerevisiae* durante el avance de la fermentación.

5-4- Evaluación final del vino y estabilidad microbiológica

Una vez finalizada la fermentación alcohólica y realizada la filtración tangencial, se evaluó el estado microbiológico de ambos tratamientos.

En el tratamiento testigo se detectó la presencia de bacterias acéticas, mientras que en el ensayo con bioprotección no se observó desarrollo bacteriano, lo que evidencia un mejor control microbiológico. (Figura N° 17 y 18).

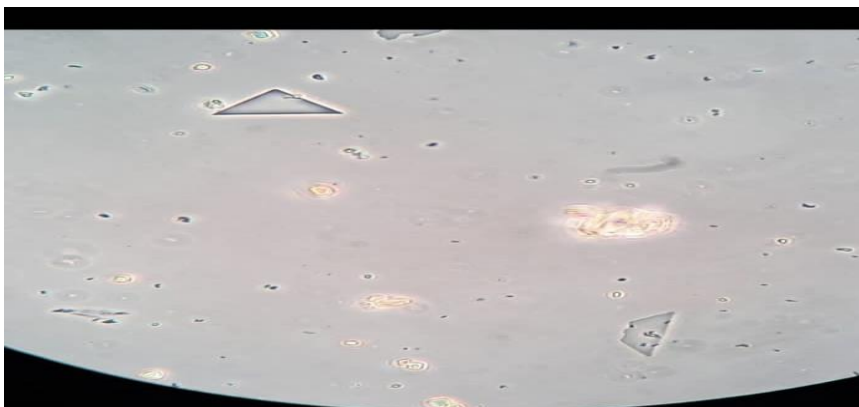


Figura N° 16: Observación microscópica del testigo post filtración tangencial.

Fotografía propia.

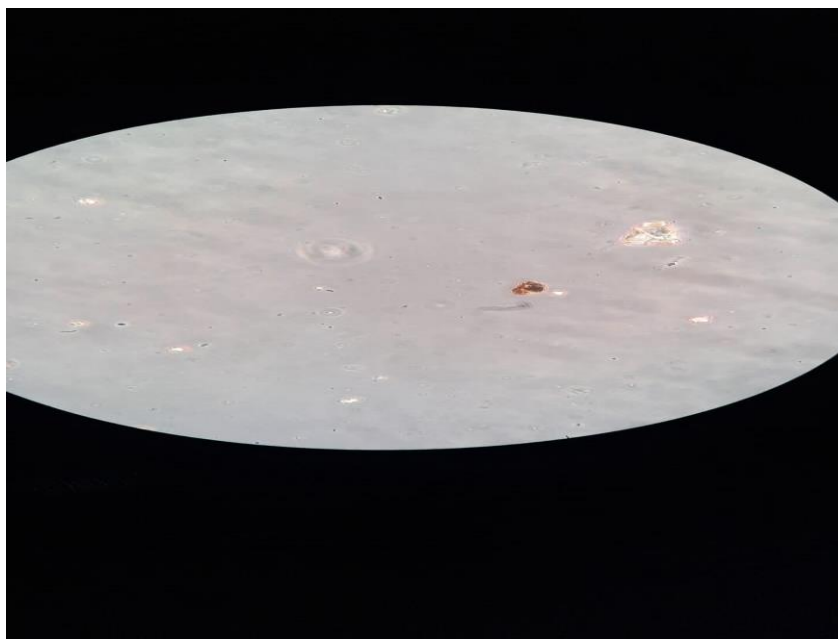


Figura N° 17: observación microscópica del ensayo post filtración tangencial.

Fotografía propia.

Desde el punto de vista químico, ambos vinos alcanzaron valores adecuados de azúcar residual ($<1,8$ g/L), confirmando la finalización de la fermentación alcohólica. No obstante, el ensayo presentó menor acidez volátil, lo que refuerza su estabilidad microbiológica (Tabla N° 16).

Tabla 15. Parámetros finales: testigo vs ensayo

FECHA	5/3/2025
VASIJA N°	67
MUESTRA N°	TESTIGO
MUESTRA N°	55700
TIPO VINO	BLANCO
Alcohol v/v	11,5
Azúcar g/L	1,56
Ac. Total g/L	4,43
Ac. Volátil g/L	0,21
Anhídrido sulfuroso libre mg/L	32
Anhídrido sulfuroso total mg/L	12
pH	3,59

FECHA	5/3/2025
VASIJA N°	69
MUESTRA N°	ENSAYO
MUESTRA N°	55701
TIPO VINO	BLANCO
Alcohol v/v	11
Azúcar g/L	1,48
Ac. Total g/L	4,89
Ac. Volátil g/L	0,12
Anhídrido sulfuroso libre mg/L	32
Anhídrido sulfuroso total mg/L	12
pH	3,55

Nota: comparación analítica entre el testigo y el ensayo.

5-5- Evaluación sensorial

El análisis sensorial permitió identificar diferencias entre ambos tratamientos, especialmente en etapas posteriores a la fermentación.

Inicialmente no se observaron diferencias significativas; sin embargo, tras un período de aproximadamente un mes, el vino elaborado con bioprotección presentó mayor frescura, mejor expresión aromática y menor tonalidad ámbar en comparación con el testigo.

En nariz, el ensayo mostró mayor intensidad aromática y mayor presencia de aromas a frutas tropicales (banana, ananá), mientras que el testigo presentó un perfil más apagado. En boca, ambos vinos presentaron buen volumen y persistencia, con leve amargor (Tabla N° 17).

Tabla 16. Evaluación sensorial descriptiva del vino testigo y del vino elaborado con bioprotección

Fase sensorial	Atributo evaluado	Vino testigo	Vino con bioprotección
Vista	Intensidad de color	Media	Media–Alta
	Tonalidad ámbar	Alta	Baja
Nariz	Intensidad aromática	Media	Alta
	Aroma a frutas tropicales	Baja	Alta
	Complejidad aromática	Media	Alta
Boca	Frescor	Medio	Alto
	Amargor	Bajo	Bajo
	Volumen en boca	Bueno	Bueno
	Persistencia	Media	Media–Alta

Nota: comparación sensorial del vino testigo frente al tratado.

Estos resultados sugieren que la bioprotección no solo permite prescindir del uso de SO₂ durante la fermentación, sino que además puede mejorar el perfil sensorial del vino.

5-6- Análisis económico

El análisis de costos indicó que el tratamiento con bioprotección presenta un costo de elaboración ligeramente superior debido al uso de insumos específicos. No obstante, ambos tratamientos muestran valores de rentabilidad similares en función del tipo de producto elaborado (Tabla N° 18).

Tabla 17. Estudio de costo de elaboración: testigo vs ensayo

ESTUDIO DE COSTO

RENDIMIENTO	0,8	ELABORACIÓN
UVA REQUERIDA	37500	KG
VOLUMEN ELABORADO	30000	L

COSTOS ELABORACIÓN TESTIGO		
Costo sueldos	16,81	\$/L
Costo insumos	49,18	\$/L
Costo energía	12,84	\$/L
	78,83	

CALIFICACION	PRECIO /L	BENEFICIO/L	BENEFICIO TOTAL
GENERIC	300,09	300	9002700
BASE ESPUMANTE	372,03	372	11160900

COSTOS ELABORACIÓN ENSAYO		
Costo sueldos	16,81	\$/L
Costo insumos	56,30	\$/L
Costo energía	12,84	\$/L
	85,95	

CALIFICACION	PRECIO /L	BENEFICIO/L	BENEFICIO TOTAL
GENERIC	300,09	300	9002700
BASE ESPUMANTE	372,03	372	11160900

Nota: análisis económico de ambas elaboraciones y proyección de comercialización.

Estos resultados indican que la implementación de bioprotección es viable desde el punto de vista económico en condiciones industriales.

DISCUSIÓN

Los resultados obtenidos en el presente trabajo permiten analizar la viabilidad de la bioprotección como estrategia alternativa al uso de anhídrido sulfuroso (SO_2) durante la fermentación alcohólica en vinos blancos, en concordancia con las tendencias actuales orientadas a la reducción de aditivos químicos en la industria vitivinícola (Gómez y Vázquez, 2026; Binati y col., 2024).

En primer lugar, la evolución de los parámetros fisicoquímicos durante la fermentación alcohólica evidenció un comportamiento similar entre el tratamiento testigo y el tratamiento con bioprotección. En ambos casos se observó una disminución progresiva del contenido de azúcares y un adecuado desarrollo de la fermentación, sin desviaciones significativas. Estos resultados coinciden con lo reportado por Maicas y Mateo (2023), quienes señalan que el uso de levaduras no-*Saccharomyces* en estrategias de bioprotección no interfiere negativamente en la cinética fermentativa, siempre que se realice una adecuada implantación inicial.

Asimismo, la cinética levemente más rápida observada en el tratamiento con bioprotección podría explicarse por una mejor organización del ecosistema microbiano desde las etapas iniciales, lo que favorece la posterior implantación de *Saccharomyces cerevisiae*. Este comportamiento ha sido descrito por Calvo Gracia (2023), quien destaca que la colonización temprana del medio por levaduras seleccionadas reduce la competencia con la microbiota autóctona y permite un desarrollo fermentativo más controlado.

Desde el punto de vista microbiológico, los resultados obtenidos muestran diferencias claras entre ambos tratamientos. En la etapa inicial, el ensayo con bioprotección presentó una mayor implantación de *Metschnikowia pulcherrima*, mientras que el testigo evidenció una mayor diversidad de microbiota autóctona. Este

comportamiento coincide con lo descrito en la literatura, donde se indica que las levaduras no-*Saccharomyces* pueden ejercer un control temprano de la microbiota mediante mecanismos de exclusión competitiva y consumo de nutrientes (Maicas y Mateo, 2023; Calvo Gracia, 2023).

Durante el desarrollo de la fermentación, se observó que las levaduras de bioprotección fueron progresivamente reemplazadas por *Saccharomyces cerevisiae*, lo cual es esperable debido a su menor tolerancia al alcohol. Este fenómeno ha sido ampliamente documentado y forma parte del funcionamiento normal de estas estrategias, donde las levaduras no-*Saccharomyces* actúan principalmente en etapas prefermentativas (Roudil y col., 2020).

Uno de los resultados más relevantes del presente trabajo se observa en la etapa final, donde el tratamiento con bioprotección no presentó desarrollo de bacterias acéticas, a diferencia del testigo. Este resultado evidencia un mejor control microbiológico en ausencia de SO₂ y refuerza el potencial de la bioprotección como herramienta eficaz para limitar microorganismos de alteración. En este sentido, diversos autores han señalado que especies como *Metschnikowia pulcherrima* pueden inhibir el crecimiento de microorganismos indeseables mediante la producción de compuestos antimicrobianos y el consumo de oxígeno disuelto (Maicas y Mateo, 2023; Esparza y col., 2020).

En relación con el control de la oxidación, el mejor desempeño del tratamiento con bioprotección también podría estar asociado a la capacidad de estas levaduras para consumir oxígeno disuelto en el mosto, reduciendo así la disponibilidad de este para reacciones oxidativas. Este mecanismo ha sido destacado como uno de los principales aportes de *Metschnikowia pulcherrima* en estrategias de bioprotección (Calvo Gracia, 2023; Maicas y Mateo, 2023).

Desde el punto de vista sensorial, los resultados obtenidos muestran que el vino elaborado con bioprotección presentó un perfil aromático más intenso y mayor frescura en comparación con el testigo. Estos resultados coinciden parcialmente con lo reportado por Agarbati y col. (2023), quienes observaron que la aplicación de bioprotección puede inducir modificaciones en el perfil aromático del vino debido a la producción de compuestos volátiles específicos. Sin embargo, otros estudios, como el de Simonin y col. (2022), indican que estos efectos pueden variar según la variedad de uva y las condiciones de vinificación, lo que sugiere que el impacto sensorial de la bioprotección no es uniforme y depende del contexto enológico.

En cuanto al análisis económico, si bien el tratamiento con bioprotección presentó un costo ligeramente superior debido al uso de insumos específicos, no se observaron diferencias significativas en términos de rentabilidad. Este resultado es consistente con lo planteado por Artem y col. (2022), quienes señalan que la implementación de estrategias para reducir el uso de SO_2 puede implicar costos adicionales, aunque estos pueden ser compensados por mejoras en la calidad del producto y su valor agregado.

En conjunto, los resultados obtenidos en este trabajo demuestran que la bioprotección constituye una estrategia eficaz para reemplazar el uso de anhídrido sulfuroso durante la fermentación alcohólica, permitiendo mantener la estabilidad microbiológica, asegurar un adecuado desarrollo fermentativo y, en algunos casos, mejorar las características sensoriales del vino. No obstante, su eficacia depende en gran medida de las condiciones de aplicación, la selección de cepas y las características de la materia prima, lo que coincide con lo reportado en la bibliografía especializada (Maicas y Mateo, 2023).

CONCLUSIONES

La presente investigación presenta algunas limitaciones que deben ser consideradas al momento de interpretar los resultados. En primer lugar, el estudio se desarrolla bajo condiciones específicas de elaboración por lo que los resultados obtenidos podrían no ser directamente extrapolados a todas las variedades de uva, regiones vitivinícolas o sistemas de elaboración. Asimismo, la eficacia de la bioprotección puede estar influenciada por diversos factores tales como estado sanitario y microbiológico de la uva, pH, temperatura, condiciones de higiene durante el proceso de elaboración. Estas variables pueden afectar el desarrollo de los microorganismos utilizados para la bioprotección.

Otra limitación se relaciona con la variabilidad de la materia prima ya que las características fisicoquímicas y microbiológicas de la uva pueden diferir entre diferentes cosechas. Por lo tanto, los resultados obtenidos representan las condiciones particulares en la que se desarrolló el ensayo.

A partir de los resultados obtenidos en el presente trabajo, se concluye que la aplicación de estrategias de bioprotección durante la fermentación alcohólica constituye una alternativa viable para reemplazar el uso de anhídrido sulfuroso (SO_2) en la elaboración de vinos blancos de la variedad Pedro Giménez.

En relación con la evolución del proceso fermentativo, ambos tratamientos (testigo y bioprotección) mostraron un comportamiento adecuado, sin desviaciones en la cinética de fermentación. Esto indica que la ausencia de SO_2 no afectó negativamente el desarrollo de la fermentación alcohólica cuando se aplicó bioprotección, permitiendo una correcta transformación de azúcares en alcohol.

Desde el punto de vista microbiológico, la bioprotección demostró ser eficaz en el control de la microbiota del mosto, favoreciendo la implantación de levaduras

seleccionadas y limitando el desarrollo de microorganismos indeseables. Este efecto se evidenció especialmente en la etapa final del proceso, donde el tratamiento con bioprotección no presentó desarrollo de bacterias acéticas, a diferencia del testigo, lo que refleja una mayor estabilidad microbiológica.

En cuanto a las características fisicoquímicas, los vinos obtenidos mediante bioprotección se mantuvieron dentro de los parámetros esperados para este tipo de elaboración, sin presentar desviaciones que comprometan su calidad. Asimismo, se logró una reducción significativa en el contenido de SO₂ total, cumpliendo con el objetivo principal del trabajo.

Desde el punto de vista sensorial, el vino elaborado con bioprotección presentó un perfil aromático más fresco y expresivo, con mayor intensidad de aromas frutales en comparación con el testigo, sin detectarse defectos asociados a alteraciones microbiológicas u oxidativas.

En términos económicos, la implementación de bioprotección no implicó diferencias significativas en la rentabilidad del proceso, a pesar de un leve incremento en los costos de insumos, lo que demuestra su factibilidad de aplicación a escala industrial.

En conjunto, los resultados obtenidos permiten aceptar la hipótesis planteada, demostrando que la bioprotección puede reemplazar el uso de anhídrido sulfuroso durante la fermentación alcohólica sin comprometer la calidad, estabilidad e inocuidad del vino.

No obstante, se recomienda profundizar en futuros estudios sobre la optimización de las condiciones de aplicación de la bioprotección, así como su comportamiento en diferentes variedades y escalas de producción, con el fin de consolidar su uso como herramienta tecnológica en la industria vitivinícola.

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Límites máximos de anhídrido sulfuroso según tipo de vino ¡Error!

Marcador no definido.

Tabla 2. Influencia del anhídrido sulfuroso en diferentes cepas de levaduras 20

Tabla 3. Comparación de concentraciones durante la fermentación alcohólica 22

Tabla 4. Comparación entre cepas de levaduras para bioprotección 27

Tabla 5. Porcentaje implantado con Pedro Giménez respecto al total, por provincia.
..... 39

Tabla 6. Porcentaje implantado con Pedro Giménez respecto al total, por
departamento 41

Tabla 7. Superficie implantada con Pedro Giménez por departamento 42

Tabla 8. Producción por variedad año 2018 a nivel nacional 43

Tabla 9. Primer control de madurez 50

Tabla 10. Segundo control de madurez 51

Tabla 11. Tercer control de madurez 51

Tabla 12. Control de fermentación del testigo 53

Tabla 13. Control de fermentación del ensayo 54

Tabla 14. Parámetros iniciales 57

Tabla 15. Parámetros intermedios 59

Tabla 16. Parámetros finales 61

Tabla 17. Evaluación sensorial 62

Tabla 18. Estudio de costo 63

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura N° 1. Consumo de O ₂ según cepa de levadura	1
Figura N° 2. Comparación de concentraciones de levaduras con y sin bioprotección.	25
Figura N° 3. Comparación de consumo de O ₂ según cepa de levadura	29
Figura N° 4. Influencia de dos cepas utilizadas en bioprotección según tipo de varietal.....	32
Figura N° 5. Interacciones microbiológicas en el vino	34
Figura N° 6. Muestra sin bioprotección	35
Figura N° 7. Aplicación de bioprotección (ausencia de mohos)	36
Figura N° 8. Hoja típica y racimo de Pedro Giménez.....	38
Figura N° 9. Participación porcentual por provincia sobre el total del país	40
Figura N° 10. Observación del mosto durante el proceso de flotación.....	52
Figura N° 11. Observación microscópica previa a la fermentación alcohólica sin bioprotección	53
Figura N° 12. Observación microscópica con aplicación de bioprotección	54
Figura N° 13. Observación microscópica del testigo en la etapa previa a la fermentación	56
Figura N° 14. Observación microscópica del ensayo en etapa previa a la fermentación	56
Figura N° 15. Observación microscópica promedio F.A del testigo	58
Figura N° 16. Observación microscópica promedio F.A del ensayo	58
Figura N° 17. Observación microscópica del testigo post filtración tangencial	60
Figura N° 18. Observación microscópica del ensayo post filtración tangencial.....	60

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Agarbati, A., Canonico, L., Ciani, M., & Comitini, F. (2023). Metschnikowia pulcherrima in cold clarification: Biocontrol activity and aroma enhancement in Verdicchio wine. *Fermentation*, 9(3), 302. <https://doi.org/10.3390/fermentation9030302>
- Artem, V., Ranca, A., Cosma, M., & Enache, L. (2022). Research on the reduction of SO₂ doses in winemaking using lysozyme and oenological tannin.
- Ashmore, P. L., Valdez, F., Harbertson, J. F., Boulton, R. B., & Collins, T. S. (2023). Rapid determination of free sulfur dioxide in wine and cider by capillary electrophoresis. *Journal of Chromatography A*, 1695, 463936. <https://doi.org/10.1016/j.chroma.2023.463936>
- Binati, R. L., Felis, G. E., & Torriani, S. (2024). How to reduce SO₂ additions in wine with the aid of non-conventional yeasts. In *IVES Conference Series, OIV*.
- Calvo Gracia, G. (2023). *Utilización de levaduras no-Saccharomyces en mostos procesados por UHPH y en ausencia de SO₂* (Tesis doctoral).
- Cañas, M. T. (2023). Empleo de estrategias enológicas innovadoras para mejorar la calidad del vino: alternativas al uso de SO₂.
- Cupcea, N., & Sturza, R. (2025). The use of bioprotective yeasts to reduce sulfite consumption in winemaking. *Journal of Engineering Science*, (4), 120–136.
- Díaz Sánchez, A. B., Barroso Bustos, A., Pérez Hernández, P. J., Casas

Cardoso, L., Mantell Serrano, C., & Cejudo Bastante, C. (2023). Stabilization of white grape must by application of supercritical CO₂ as a strategy to reduce the SO₂ content.

- Esparza, I., Martínez-Inda, B., Cimminelli, M. J., Jimeno-Mendoza, M. C., Moler, J. A., Jiménez-Moreno, N., & Ancín-Azpilicueta, C. (2020). Reducing SO₂ doses in red wines by using grape stem extracts as antioxidants. *Biomolecules*, 10(10), 1369. <https://doi.org/10.3390/biom10101369>
- Gómez, N., & Vázquez, P. (2026). The wine route in Argentina: History, culture and sustainable contributions to the economy and the environment. *New Countryside*, 5(1), 1–17.
- Howe, P. A., Worobo, R., & Sacks, G. L. (2018). Conventional measurements of sulfur dioxide (SO₂) in red wine overestimate SO₂ antimicrobial activity. *American Journal of Enology and Viticulture*, 69(3), 210–220.
- Instituto Nacional de Vitivinicultura. (2019). *Informe de la variedad Pedro Giménez*. [https://www.argentina.gob.ar/sites/default/files/informe_variedad_pedro_gimenez .pdf](https://www.argentina.gob.ar/sites/default/files/informe_variedad_pedro_gimenez.pdf)
- Laffort. *Bioprotección*. <https://laffort.com/es/bioprotection/>
- Maicas, S., & Mateo, J. J. (2023). The life of Saccharomyces and non-Saccharomyces yeasts in drinking wine. *Microorganisms*, 11(5), 1178. <https://doi.org/10.3390/microorganisms11051178>
- Mariach, N. (2022). *Quality characteristics and consumer exposure to sulphur dioxide from fruit-based nonalcoholic beverages commercially traded in Nairobi* (Tesis doctoral, University of Nairobi).
- Martín-García, F. J., Palacios-Fernández, S., López de Lerma, N., García-

Martínez, T., Mauricio, J. C., & Peinado, R. A. (2023). The effect of yeast, sugar and sulfur dioxide on the volatile compounds in wine. *Fermentation*, 9(6), 541. <https://doi.org/10.3390/fermentation9060541>

- Roudil, L., Russo, P., Berbegal, C., Albertin, W., Spano, G., & Capozzi, V. (2020). Non-Saccharomyces commercial starter cultures: Scientific trends, recent patents and innovation in the wine sector. *Recent Patents on Food, Nutrition & Agriculture*, 11(1), 27–39.
- Simonin, M., Briand, M., Chesneau, G., Rochefort, A., Marais, C., Sarniguet, A., & Barret, M. (2022). Impact of microbial interactions on wine fermentation. *New Phytologist*, 234(4), 1448–1463.
- Yildirim, H. K., & Darıcı, B. (2020). Alternative methods of sulfur dioxide used in wine production. *Journal of Microbiology, Biotechnology & Food Sciences*, 9(4).
- Zilelidou, E. A., & Nisiotou, A. (2021). Understanding wine through yeast interactions. *Microorganisms*, 9(8), 1620. <https://doi.org/10.3390/microorganisms9081620>