

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE BAJA CALIFORNIA**



**Universidad Autónoma de Baja California**

**FACULTAD DE ENOLOGÍA y GASTRONOMÍA**

**TRABAJO TERMINAL DE ESPECIALIDAD EN VITICULTURA  
Y ENOLOGÍA**

**Influencia de la hiperoxidación prefermentativa sobre las propiedades  
físicoquímicas y sensoriales del vino Sauvignon Blanc**

**Jorge Isaac Pérez Muñoz**

**Sustentante**

**Dr. Sc. Víctor Alfonso Macías Carranza**

**Director de trabajo final**

**Ensenada, Baja California, México**

**18-03-2025**



“2025, año del Turismo Sostenible como impulsor del Bienestar Social y Progreso”  
**Facultad de Enología y Gastronomía**



PROPUESTA DE VOTOS APROBATORIOS DEL TRABAJO DESARROLLADO EMITIDO POR EL COMITÉ DE TRABAJO TERMINAL Y FIRMADA POR SUS MIEMBROS.

**“Influencia de la hiperoxidación prefermentativa sobre las propiedades fisicoquímicas y sensoriales del vino Sauvignon Blanc”**  
TRABAJO TERMINAL

Para cubrir los requisitos necesarios para obtener el título de la

**ESPECIALIDAD EN VITICULTURA Y ENOLOGÍA**

Presentada

**Jorge Isaac Pérez Muñoz**

**No. 374880**

A quien el Comité de Trabajo Terminal autoriza el trabajo terminal, después de haber efectuado una revisión minuciosa del mismo y de acuerdo con el Art. 19 del R.G.E.P.E.P. las y los señores profesores emiten los siguientes votos aprobatorios mediante rúbrica:

**Dr. Víctor Alfonso Macías Carranza**

DIRECTOR

CODIRECTOR

**M.P.A. Gricelda López González**

SINODAL

**M. en C. Vidal Antonio Pérez Muñoz**

SINODAL

Ensenada, Baja California, 14 de marzo de 2025

**“POR LA REALIZACIÓN PLENA DEL SER”**

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA  
DE BAJA CALIFORNIA



FACULTAD DE ENOLOGÍA  
Y GASTRONOMÍA

# Dedicatoria

María Alicia Muñoz Ríos

Jorge Isaac Pérez Castillo

Verónica Cecilia Pérez Muñoz

## Agradecimientos

A mi mamá María Alicia Muñoz Ríos, por su amor incondicional, por enseñarme con su ejemplo lo que significa el esfuerzo, y por ser mi mayor fuente de fortaleza incluso en la distancia.

A mi papá Jorge Isaac Pérez Castillo en memoria. Aunque no estés físicamente, tu presencia me acompaña y me guía en silencio. Esta meta también es tuya.

A mi hermana Verónica Cecilia Pérez Muñoz, por ser mi compañera de vida, por sus palabras de aliento en los momentos más duros, y por ser un pilar firme en los días de incertidumbre.

A mi asesor Víctor Alfonso Macias Carranza, por guiarme con paciencia y exigencia. Gracias por enseñarme que el conocimiento no solo se construye con datos, sino también con rigor, humildad y constancia.

A mis amigos de Parras, por haberme acompañado desde los inicios, por hacerme sentir siempre en casa. Y a mis amigos de Ensenada, por recibirme en una nueva etapa de mi vida, por compartir su tiempo, sus palabras, y su compañía cuando más lo necesité.

Esta tesis no solo representa una etapa académica, sino también personal. A todos ustedes, gracias por ser parte del camino. Sin ustedes, este logro no tendría el mismo significado

## Resumen

El presente estudio analiza el impacto de las técnicas prefermentativas de hiperoxidación y vinificación reductiva en las propiedades químicas y sensoriales del vino Sauvignon blanc elaborado en el Valle de Guadalupe, Ensenada, México. Se evaluaron tres tratamientos: hiperoxidación con 2.5 mg/L y 1.5 mg/L de oxígeno, y vinificación tradicional con adición de 6 mg/hL de sulfitos. Los mostos fueron fermentados y sometidos a análisis fisicoquímicos y sensoriales durante el almacenamiento en botella.

Los resultados muestran que la hiperoxidación reduce la concentración de polifenoles y mejora la estabilidad cromática, disminuyendo la tendencia al pardeamiento. Sin embargo, también se observó una reducción en los compuestos aromáticos varietales, lo que afectó la percepción de frescura en el vino. Por otro lado, la vinificación reductiva preservó mejor los aromas frutales y tropicales característicos del Sauvignon blanc, aunque presentó una mayor susceptibilidad a la oxidación en el tiempo. El análisis sensorial evidenció diferencias significativas entre los tratamientos, sugiriendo que la elección del método prefermentativo depende del perfil sensorial deseado y del mercado objetivo.

Este estudio contribuye a la comprensión de la hiperoxidación como una estrategia viable para reducir el uso de sulfitos y mejorar la estabilidad fenólica en vinos blancos. Los hallazgos obtenidos pueden ser aplicables a otras variedades y regiones, brindando nuevas alternativas para la producción de vinos con menor intervención química.

Palabras clave: hiperoxidación, polifenoles, color, análisis sensorial.

## **Abstract**

This study analyzes the impact of pre-fermentation techniques, hyperoxidation and reductive winemaking, on the chemical and sensory properties of *Sauvignon blanc* wine produced in Valle de Guadalupe, Ensenada, Mexico. Three treatments were evaluated: hyperoxidation with 2.5 mg/L and 1.5 mg/L of oxygen, and reductive winemaking with the addition of 6 mg/hL of sulfites. The musts were fermented at 16 °C and subjected to physicochemical and sensory analyses during bottle aging.

The results show that hyperoxidation reduces polyphenol concentration and improves color stability, decreasing browning tendency. However, a reduction in varietal aromatic compounds was also observed, affecting the wine's freshness perception. In contrast, reductive winemaking better preserved the fruity and tropical aromas characteristic of *Sauvignon blanc*, although it showed higher susceptibility to oxidation over time. Sensory analysis revealed significant differences between treatments, suggesting that the choice of pre-fermentation method depends on the desired sensory profile and target market.

This study contributes to understanding hyperoxidation as a viable strategy to reduce sulfite use and improve phenolic stability in white wines. The findings may be applicable to other grape varieties and regions, providing new alternatives for producing wines with lower chemical intervention.

**Keywords:** hyperoxidation, reductive winemaking, *Sauvignon blanc*, polyphenols, sensory stability, sulfites.

## CONTENIDO

Resumen .....	iv
Lista de Figuras .....	vii
Introducción .....	1
Objetivo General.....	4
Objetivo Particular.....	4
Materiales y Métodos .....	5
Resultados.....	14
Discusiones .....	20
Conclusiones .....	24
Literatura citada .....	25

## Lista de Figuras

Tabla 1. Parámetros fisicoquímicos pre y post fermentativos (2023).....	14
Tabla 2. Parámetros fisicoquímicos pre y post fermentativos (2024) .....	15
Figura 1. Evolución de la acidez volátil en los tratamientos (Añada 2023). .....	16
Figura 2. Comparación de la concentración de polifenoles totales entre tratamientos (Añada 2023) .....	16
Figura 3. Comparación de la estabilidad del color entre tratamientos (Añada 2023).....	17
Figura 4. Composición de ésteres y alcoholes superiores en los vinos (Añada 2023).....	18
Figura 5. Evolución sensorial de los vinos.....	19

## Introducción

La elaboración de vinos blancos es un proceso de decisiones técnicas orientadas a conservar y potenciar las cualidades sensoriales del producto final. Por ejemplo, la gestión del oxígeno durante la vinificación desempeña un papel fundamental. La hiperoxidación prefermentativa es una técnica enológica que ha despertado un creciente interés en las últimas décadas debido a su capacidad para influir en la composición química y en las características organolépticas de los vinos blancos. Este es un procedimiento que consiste en la exposición controlada del mosto al oxígeno antes de que se realice la fermentación alcohólica con el fin de oxidar compuestos fenólicos, esto permite una relativa estabilidad y mejora la calidad del vino (Cheynier et al., 1989). La presencia de oxígeno en estas etapas iniciales provoca cambios relevantes en el color, la composición fenólica y la estabilidad aromática del vino blanco, cambiando según la variedad de uva y las condiciones del proceso de vinificación (Kanavouras et al., 2020).

El uso de esta técnica implica un manejo preciso, ya que su eficiencia está determinada por diversos factores, el más importante es la cantidad de oxígeno aplicada y el momento de la aplicación (Salmon et al., 2002). Es por esto que la hiperoxidación prefermentativa ha ganado relevancia en la industria del vino, dado que su aplicación puede mejorar de forma significativa la calidad y la longevidad de los vinos blancos. Investigadores han demostrado que los compuestos fenólicos, como los flavonoides y los ácidos hidroxicinámicos, son altamente susceptibles a la oxidación. Estos compuestos no solo determinan el color y la astringencia del vino, sino que también actúan como sustratos en reacciones de pardeamiento enzimático y no enzimático (Singleton, 1987). Este efecto se puede observar durante el almacenamiento en botella, donde el color del vino blanco tiende a intensificarse con el tiempo debido a la formación de polímeros fenólicos y pigmentos amarillos derivados de procesos oxidativos (Pati et al., 2019).

El propósito de la hiperoxidación es controlar el pardeamiento al oxidar estos compuestos, disminuyendo su concentración en el mosto y reduciendo así el riesgo de inestabilidad química y sensorial durante el envejecimiento del vino (Ribéreau-Gayon et al., 2006). También se ha demostrado que es eficaz en la estabilización del vino eliminando los flavonoides que contribuyen al amargor y la astringencia. De igual

forma, puede disminuir la presencia de tioles, como el 3-mercaptohexanol, que aportan notas aromáticas de frutas tropicales (Schneider 1998). Sin embargo, investigaciones recientes han demostrado que el uso combinado del dióxido de azufre y un manejo cuidadoso del oxígeno, puede evitar la pérdida de estos compuestos aromáticos, logrando un equilibrio sensorial óptimo (Coetzee et al., 2013). Otros estudios realizados en vinos italianos han encontrado que la oxidación controlada contribuye a una mejor estabilidad sin afectar el color y los compuestos volátiles que se producen durante la fermentación (Asproudi et al., 2011).

La hiperoxidación prefermentativa también mejora la estabilidad del color en los vinos blancos, reduciendo el uso de aditivos como el SO<sub>2</sub>, que se emplea rutinariamente para prevenir la oxidación y el desarrollo de microorganismos (Danilewicz, 2007). No obstante, un exceso de oxígeno en esta fase puede tener efectos adversos, como la pérdida de compuestos aromáticos deseables y la generación de productos de oxidación indeseables, como el acetaldehído, que puede conferir notas desagradables al vino, lo que se traduce en una disminución de la frescura aromática y un incremento de notas asociadas al envejecimiento prematuro (Pati et al., 2019).

Las condiciones redox durante la fermentación, particularmente en la formación de compuestos volátiles, es un aspecto crítico en la vinificación. Se ha demostrado que durante la fermentación pueden aumentar la producción de ésteres y ácidos grasos, mientras que condiciones microaeróbicas favorecen la formación de alcoholes superiores (Fariña et al., 2012), modulando el perfil aromático final del vino (Valero et al., 2002). Las condiciones redox y sus variaciones, también afectan la actividad enzimática de las levaduras (*Saccharomyces cerevisiae*), regulando la producción de esterres que afectan las características sensoriales del vino.

Los compuestos fenólicos son esenciales dentro de las características sensoriales del vino, afectado principalmente la astringencia y el color. Se ha demostrado que la estabilidad de estos compuestos está controlada por la actividad de enzimas oxidativas, como la polifenoloxidasas y la lacasa, que desempeñan un papel fundamental en la oxidación de los compuestos fenólicos durante la hiperoxidación (Cheynier et al., 1994).

Además del contenido fenólico, las propiedades fisicoquímicas del mosto como el pH, la acidez total pueden influir en la cinética de las reacciones de oxidación, afectando la calidad del vino terminado (Singleton, 1987). En estudios realizados con vinos de Jerez, se ha observado que la adición de SO<sub>2</sub> junto con la hiperoxidación puede disminuir la eficacia del proceso debido a su efecto reductor, afectando la eliminación de polifenoles y la estabilidad del color (Mayén et al., 1996). Estudios en vinos italianos han revelado que específicamente en variedades como *Trebbiano* y *Pinot Grigio* la hiperoxidación favorece la estabilidad fenólica sin comprometer las cualidades organolépticas del vino (Nicolini et al., 1992).

A pesar de los beneficios comprobados que ofrece la hiperoxidación prefermentativa, el uso en la industria vitivinícola enfrenta muchos desafíos. Uno de los principales se presenta en la variabilidad de la respuesta a diferentes tipos de uva tinta. Mientras que en *Chardonnay* y *Sauvignon blanc* se observaron mejoras significativas, tanto en las características de estabilidad fenólica, como en las propiedades organolépticas (Dubourdieu et al., 2000). Por otra parte, no existen protocolos estandarizados para su aplicación y esto puede dificultar la implementación a gran escala. Es por estas razones y la falta de estudios la importancia de estudiar de manera sistemática el comportamiento de la técnica de hiperoxidación sobre los procesos de vinificación en México. Principalmente en el Valle de Guadalupe, donde se concentra la mayor parte de la producción vitivinícola del país.

El presente estudio tiene como objetivo evaluar el impacto de las técnicas prefermentativas de hiperoxidación y vinificación reductiva sobre las propiedades químicas y sensoriales de los vinos Sauvignon blanc producidos en el Valle de Guadalupe, México, con el propósito de identificar estrategias óptimas para la producción de vinos blancos. Se espera que esta investigación contribuya a optimizar la gestión del oxígeno durante la vinificación del Sauvignon blanc y proporcionen herramientas para mitigar los efectos negativos de la oxidación en la calidad del vino.

## **Objetivos**

### **Objetivo General**

Evaluar el impacto de las técnicas prefermentativas de hiperoxidación y vinificación reductiva sobre las propiedades químicas y sensoriales de los vinos Sauvignon blanc producidos en el Valle de Guadalupe,

### **Objetivos Específicos**

- Establecer los niveles de polifenoles y color en vinos pre-fermentados con hiperoxidación y de forma tradicional.
- Comparar los perfiles sensoriales de los vinos tratados con las diferentes metodologías prefermentativas.

## **Materiales y Métodos**

La investigación se llevó a cabo en el Valle de Guadalupe, Ensenada, México, en el lote de viñedo identificado como "A2" durante las cosechas de 2023 y 2024. Esta región se caracteriza por su clima mediterráneo, ideal para el cultivo de uvas viníferas, con días soleados y noches frescas, condiciones óptimas para la variedad Sauvignon blanc.

Se empleó un diseño de bloques completos al azar (DBCA) para controlar la variabilidad entre las diferentes cosechas. Los bloques correspondieron a las añadas 2023 y 2024, mientras que los tratamientos fueron: (1) hiperoxidación con 2.5 mg/L de oxígeno (24SBHOX-1 y 23HOX-1), (2) hiperoxidación con 1.5 mg/L de oxígeno (24SBHOX-2) y (3) vinificación tradicional mediante la adición de sulfitos (24SBMX-1 y 23CON1) con una dosis de 6 mg/hL para vinos con madurez alta y acidez baja, según lo establecido por Hidalgo Togores (2018). Cada tratamiento se replicó tres veces dentro de cada bloque. Las uvas se cosecharon manualmente en su punto óptimo de madurez, determinado por un contenido promedio de 22.2 °Brix. Se tomaron muestras aleatorias de cada lote para el análisis de los parámetros fisicoquímicos (Brix, pH y acidez total).

### **Despalillado y estrujado**

Las uvas se sometieron a despalillado y estrujado utilizando un equipo Delta Evolution 2 (Bucher Vaslin, Francia). El despalillado se ajustó para separar eficazmente los raspones sin dañar excesivamente los hollejos, mientras que el estrujado se reguló para obtener una ruptura parcial de las bayas, favoreciendo la liberación del mosto sin triturar las semillas, evitando así la extracción de taninos indeseados.

### **Prensado**

El mosto y las partes sólidas resultantes del estrujado se trasladaron inmediatamente a una prensa neumática horizontal modelo MO-55 (Defranceschi, Italia). Para los tratamientos reductivos, se adicionó metabisulfito de potasio (SO<sub>2</sub>) directamente en la prensa a una dosis de 6 mg/hL, (Togores 2018). Durante el prensado y recepción, se añadió nitrógeno gaseoso para minimizar la oxidación.

En los tratamientos de hiperoxidación, durante el prensado, se aplicaron dosis controladas de oxígeno (2.5 mg/L y 1.5 mg/L) mediante un sistema de microoxigenación equipado con difusores de cerámica, asegurando una distribución homogénea del oxígeno en el mosto. La presión de prensado se programó en ciclos incrementales, comenzando con 0.2 bares y aumentando gradualmente hasta un máximo de 1.8 bares. La duración del prensado fue de aproximadamente 2 horas.

Se realizó un desfangado estático, enfriando el mosto a 8 °C mediante un sistema de enfriamiento por glicol. La sedimentación de los sólidos se llevó a cabo durante 24 horas, tras las cuales se extrajo el mosto limpio por la parte superior del tanque, dejando las lías gruesas en el fondo. Este proceso permitió obtener un mosto claro, reduciendo la carga microbiana y los compuestos que podrían generar aromas no deseados.

#### Fermentación

El mosto limpio se inoculó con la levadura seleccionada *Saccharomyces cerevisiae* cepa Excellence® STR (Lamothe-Abiet, Francia). La rehidratación de la levadura se realizó siguiendo las indicaciones del fabricante. Se agitó suavemente la suspensión y se añadió gradualmente al mosto, asegurando una diferencia de temperatura no superior a 5°C entre la suspensión y el mosto para evitar choques térmicos. La fermentación se llevó a cabo en los mismos tanques de acero inoxidable, manteniendo una temperatura constante de 16 °C.

#### Clarificación Proteica

Una vez finalizada la fermentación alcohólica, confirmada mediante lecturas constantes de densidad inferior a 0.995 y ausencia de burbujeo en la superficie del vino, se procedió a la clarificación proteica. Para ello, se utilizó bentonita sódico-cálcica (proveedor: Enartis, Italia), en una dosis de 100 g/hL, previamente determinada en pruebas de laboratorio mediante test de estabilidad proteica (test térmico a 80 °C durante 6 h). La bentonita hidratada fue incorporada al vino mediante una bomba dosificadora peristáltica, con recirculación continua para asegurar la distribución homogénea del clarificante. El vino se dejó reposar durante 72 horas a 12 °C, facilitando la sedimentación natural de las proteínas. Tras el desfangado por

decantación, se filtró el vino utilizando un sistema de placas de celulosa con grado de porosidad de 2 micras (marca: Enotech, Italia). La operación de filtrado se realizó a una presión máxima de 1.5 bares y a una temperatura de 12–14 °C. El vino filtrado se recolectó directamente en tanques de acero inoxidable sanitizados, en espera del proceso de embotellado.

## Embotellado

Para cada tratamiento se embotellaron 18 botellas de 750 mL, utilizando una línea semiautomática de llenado por gravedad, con campana de inertización previa con nitrógeno gaseoso (N<sub>2</sub>) para desplazar el oxígeno residual. Las botellas se dividieron en dos grupos: Uno con adición de 20 ppm de SO<sub>2</sub> y el segundo, sin adición de sulfitos. Las botellas se etiquetaron, codificaron según tratamiento y se almacenaron en una cava a temperatura constante de 12–15 °C, humedad relativa entre 70–75 %, y en oscuridad total.

Durante el periodo de conservación, se realizaron análisis periódicos en las botellas correspondientes a cada tratamiento. Para la añada 2023, almacenada durante 12 meses, y la añada 2024, con 4 meses en botella, se monitorearon los siguientes parámetros: Oxígeno disuelto y espacio de cabeza, medido con un oxímetro óptico portátil (modelo LDO101, Hach®). Acidez volátil, color, y polifenoles totales, según los métodos detallados en la sección de análisis fisicoquímico. Evolución sensorial mediante cata a ciegas, según panel especializado descrito en el análisis sensorial.

## Análisis Fisicoquímico

### Determinación de grados Brix (°Bx):

Para la determinación del contenido de azúcares solubles totales en el vino, se utilizó un densímetro analógico calibrado específicamente para lecturas en grados Brix (°Bx). Se seleccionó una muestra representativa de vino blanco, la cual fue desgasificada previamente mediante agitación y templada a 20 °C utilizando un baño termostático con control digital de temperatura ( $\pm 0.1$  °C de precisión). El valor obtenido fue contrastado con una tabla oficial de conversión temperatura-densidad-°Bx para corregir cualquier desviación térmica residual.

El densímetro fue verificado antes de cada jornada analítica utilizando una solución patrón de sacarosa al 10 % (p/v), asegurando que su lectura concordara con el valor teórico a 20 °C. En caso de desviación mayor a  $\pm 0.2$  °Bx, se realizó un recalibrado o cambio del instrumento.

Determinación del grado alcohólico (% v/v):

Se llevó a cabo mediante el método combinado de destilación e hidrometría, técnica estandarizada y recomendada por la OIV para vinos blancos secos.

Se inició la destilación con calentamiento controlado por placa eléctrica con regulador de potencia, evitando ebullición violenta. Se recolectaron 220 mL de destilado en un matraz aforado de 250 mL previamente tarado y enfriado. Una vez alcanzada la temperatura ambiente (20 °C), se completó el volumen con agua destilada libre de CO<sub>2</sub> hasta el enrase.

La mezcla fue homogeneizada mediante inversión suave del matraz y transferida cuidadosamente a una probeta de 250 mL. Se introdujo un alcoholímetro calibrado para 20 °C, el cual fue previamente verificado usando una solución patrón de etanol al 10 % (v/v). Se dejó estabilizar la lectura durante 1 minuto y se registró el valor, aplicando la corrección necesaria según la tabla de compensación por temperatura.

Determinación del pH:

Se realizó utilizando un potenciómetro de mesa Orion 410 (Thermo Fisher Scientific, USA), equipado con un electrodo combinado de vidrio con referencia interna de cloruro de plata (Ag/AgCl). El potenciómetro fue calibrado usando soluciones buffer trazables a estándares NIST de pH 4.00, 7.00 y 10.00, asegurando la linealidad de la curva de calibración. Se descartaron los primeros 2 mL de cada buffer antes de usarlo, para evitar contaminación cruzada.

Para la lectura, se usaron 50 mL de vino desgasificado. El electrodo fue enjuagado con agua desionizada entre cada muestra y se sumergió en la muestra, hasta que el valor de pH se estabilizara ( $\pm 0.01$ ) antes de registrar la lectura. Todas las mediciones se realizaron a una temperatura constante de 20.0 °C, y el equipo fue verificado cada 10 mediciones para evitar posibles desviaciones.

La acidez total:

Se determinó mediante titulación potenciométrica. Se utilizó como titulante hidróxido de sodio (NaOH) 0.01 N, previamente estandarizado con biftalato de potasio como patrón primario. Cada muestra de vino fue desgasificada manualmente mediante agitación en vaso Erlenmeyer durante 5 minutos, con el fin de eliminar CO<sub>2</sub> que pudiera interferir en el punto de equivalencia. Se pipetearon 10.00 mL de muestra en un vaso de precipitados de 150 mL, añadiendo posteriormente 40 mL de agua destilada para disminuir la fuerza iónica y facilitar la detección del punto final.

La titulación se realizó con la ayuda de un potenciómetro Orion 410, acoplado a una bureta digital y un electrodo combinado calibrado. La solución fue titulada gota a gota hasta alcanzar un pH final de 8.20, considerado el punto de equivalencia para vinos según la OIV. Durante todo el procedimiento, la mezcla se agitó magnéticamente a velocidad constante para asegurar homogeneidad en la solución.

El volumen de NaOH consumido fue registrado automáticamente por la bureta digital con una resolución de ±0.01 mL. Posteriormente, la acidez total fue calculada con la siguiente fórmula:

$$AT \text{ (gr/l)} = \left( \frac{Vg * 75 * NNaOH}{Vm} \right)$$

Donde:

- $Vg$  = volumen gastado de NaOH (mL)
- $N$  = normalidad de NaOH (0.01 N)
- $Vm$  = volumen de muestra (10.00 mL)

Los resultados fueron expresados como gramos de ácido tartárico por litro (g/L), normalizados a 20 °C. Cada análisis se realizó por triplicado y los valores extremos fueron descartados si presentaban una desviación estándar mayor al 5 %.

Análisis de color:

Se llevó a cabo utilizando un espectrofotómetro UV-Vis Y15 (Biosystems, España), en modo de absorbancia, conforme al método descrito por Iland et al. (2004), validado por la OIV para vinos blancos.

Se seleccionaron muestras filtradas previamente con papel cualitativo grado 1 y desgasificadas mediante agitación manual. Posteriormente, se tomaron celdas de cuarzo de 1 cm de paso óptico, las cuales fueron lavadas con agua destilada y enjuagadas tres veces con la misma muestra de vino antes de proceder a la lectura. Las mediciones se realizaron a tres longitudes de onda (420, 520 y 620 nm). El espectrofotómetro fue calibrado cada 15 lecturas mediante el escaneo de un estándar de absorbancia certificado, asegurando una desviación menor a  $\pm 0.005$  unidades de absorbancia (A.U.). Los resultados se expresaron como:

- Densidad de color =  $A_{420} + A_{520}$
- Matiz =  $A_{420} / A_{520}$

El análisis se repitió por triplicado para cada muestra, para asegurar la reproducibilidad del equipo.

#### Cuantificación de sulfitos

Para el análisis de sulfitos libres se utilizó el método de aspiración-oxidación., se pipetearon 50.0 mL de muestra de vino recién abierta y desgasificada, vertiéndola en un matraz de reacción tipo Kjeldahl de 250 mL. Se adicionaron 10 mL de ácido fosfórico al 25 % para liberar el azufre y atrapándolo en una solución de agua oxigenada ( $H_2O_2$  al 3 %). La cuantificación se llevó a cabo con una titulación con NaOH 0.01 N, utilizando azul de metileno como indicador visual redox. El punto final fue identificado por el cambio de color de incoloro a azul pálido persistente durante 30 segundos. El volumen gastado fue registrado con una bureta.

El cálculo se realizó con la fórmula:

$$SO_2(mg/L) = \frac{Vg * 32,000 * NNaOH}{Vm}$$

Donde:

- $V_g$  = volumen de NaOH gastado (mL)
- $N$  = normalidad de la solución (0.01 N)
- $V_m$  = volumen de muestra analizada (mL)

La acidez volátil:

Se determinó mediante destilación con arrastre de vapor, técnica oficial recomendada por la OIV. Se tomaron 20.0 mL de vino desgasificado, se transfirieron a un matraz de destilación de 250 mL. La mezcla fue introducida en un equipo de destilación con arrastre de vapor tipo Clevenger, equipado con un sistema de refrigeración continua. El destilado fue recogido en un matraz Erlenmeyer que contenía 25 mL de agua destilada fría, enfriada previamente a 4 °C para evitar la pérdida de compuestos volátiles. Se recolectó un volumen total de 250 mL de destilado, asegurando una recuperación completa del ácido acético contenido en la muestra. La solución recolectada fue titulada inmediatamente con NaOH 0.01 N, utilizando fenolftaleína al 1 % como indicador. La titulación se realizó hasta la aparición de una coloración rosa pálido persistente durante al menos 30 segundos. El volumen gastado se registró con una bureta automática de 25 mL con precisión de 0.01 mL.

El cálculo de la acidez volátil se realizó utilizando la fórmula:

$$AV (mg/L) = \frac{V_g * 60 * N_{NaOH}}{V_m}$$

Donde:

- $V_g$  = volumen gastado de NaOH (mL)
- $N$  = normalidad de la solución (0.01 N)
- $V_m$  = volumen de muestra (20.0 mL)

Cuantificación de polifenoles totales:

Se utilizó el método colorimétrico de Folin-Ciocalteu. Este análisis se llevó a cabo en condiciones controladas de luz y temperatura para evitar la degradación de los fenoles durante el procedimiento. A cada muestra se le añadieron 2.5 mL de reactivo de Folin-

Ciocalteu previamente diluido (1:10 con agua destilada). Se añadieron 2.0 mL de carbonato de sodio ( $\text{Na}_2\text{CO}_3$ ) al 7.5 % p/v, con el fin de generar el ambiente alcalino necesario para el desarrollo de color. La lectura de absorbancia se realizó a 765 nm utilizando un espectrofotómetro UV-Vis Y15 (Biosystems, España), con cubetas de vidrio óptico de 1 cm de paso de luz. El blanco fue preparado utilizando la misma secuencia, sustituyendo el vino por agua destilada.

Para la cuantificación, se preparó una curva estándar de ácido gálico en concentraciones de 50, 100, 150, 200 y 250 mg/L. La curva presentó un coeficiente de correlación superior a 0.995 en todas las sesiones analíticas. Los resultados se expresaron como miligramos equivalentes de ácido gálico por litro de vino (mg GAE/L).

Contenido de oxígeno disuelto:

Se determinó utilizando un medidor multiparamétrico digital de oxígeno disuelto, modelo portátil con tecnología óptica de fluorescencia (sensor tipo LDO), el cual no requiere calibración frecuente ni solución electrolítica, lo que garantiza mayor estabilidad y precisión. El sensor fue sumergido completamente en la muestra, asegurándose de que la membrana estuviera cubierta por el líquido y sin la presencia de burbujas adheridas. La medición se realizó en modo continuo hasta que el equipo indicara estabilización de la señal (variación menor a  $\pm 0.01$  ppm durante 10 segundos). Los valores registrados incluyeron:

- Oxígeno disuelto (mg/L o ppm)
- Temperatura de la muestra ( $^{\circ}\text{C}$ )
- % de saturación

Compuestos Volátiles:

Se seleccionó una muestra representativa de vino blanco, la cual se filtró a través de un filtro de  $0.45 \mu\text{m}$  para eliminar partículas y sedimentos. Posteriormente, se diluyó la muestra con etanol en una proporción de 1:10 (v/v) para reducir la concentración de compuestos y evitar sobrecargar la columna del cromatógrafo de gases. Posteriormente, se realizó una extracción líquido-líquido utilizando hexano en una

proporción de 1:1 (v/v) respecto a la muestra diluida. La mezcla se agitó durante 5 minutos y se dejó reposar por 10 minutos para permitir la separación de fases. La fase orgánica se recolectó y se concentró mediante evaporación al vacío a 30°C hasta obtener un volumen final de 1 mL.

La muestra concentrada se ajustó a un pH entre 2 y 7 utilizando una solución de HCl al 1 %. Finalmente, se inyectó 1 µL de la muestra en el GC, con un flujo de helio de 1 mL/min. La temperatura del inyector se estableció en 250°C y la de la columna se programó de 50°C a 250°C a 10°C/min, con una duración total del análisis de 60 minutos. El detector operó en modo SCAN en intervalos de 0.25 s, con un rango de 14–264. Los compuestos se identificaron mediante el espectro MS y la biblioteca NIST 107. La validez del método se verificó mediante adiciones estándar y se utilizó para cuantificar los analitos.

#### Análisis sensorial:

Se llevó a cabo mediante una cata descriptiva, realizada por un panel de 10 profesionales de la industria entre enólogos y sommeliers ya con experiencia en la industria. La evaluación incluyó la percepción de atributos aromáticos, gustativos y de equilibrio general en los vinos elaborados bajo diferentes tratamientos.

Los catadores realizaron una descripción detallada de los perfiles aromáticos presentes en cada vino, diferenciando entre descriptores frutales, florales, herbáceos y especiados. Se emplearon referencias estándar para la identificación de aromas, siguiendo la metodología propuesta por Jackson (2020). Se utilizó una escala de intensidad de 1 a 5 para cada descriptor sensorial, permitiendo una evaluación objetiva y cuantificable de las diferencias entre los tratamientos.

## Resultados

**Tabla 1. Parámetros fisicoquímicos pre y post fermentativos (2023).**

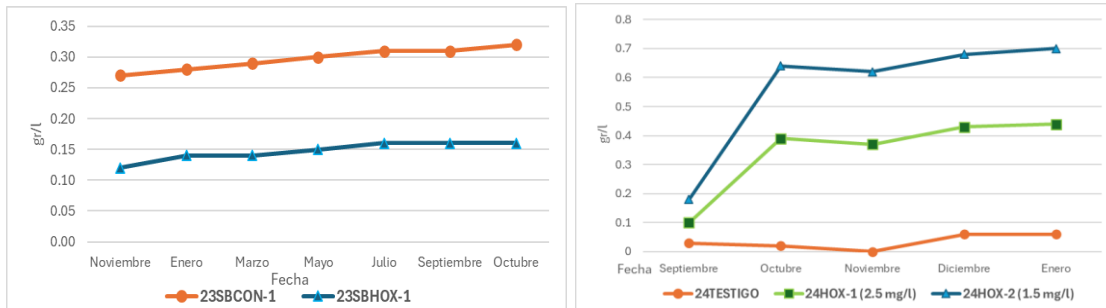
Parámetro	23SBHOX-1 Pref.	23SBCON-1 Pref.	23SBHOX-1 Post.	23SBCON-1 Post.	24TESTIGO Pref.
BRIX	22.7	22.4			22.1
Alcohol			13.4	13.2	
pH	4	3.9	3.5	3.6	3.9
Acidez total (g/l)	4.4	4.7	5.6	4.9	4.6
Acidez volátil (g/l)	0.2	0.1	0.1	0.3	0
Turbidez (NTU)	146	157	588	0.3	150
O2D (mg/l)	0.2	1.3	0.6	0.5	1
SO2L (mg/L)	0	0	14	8	16
SO2T (mg/L)	14	14	79	28	84
Color (UA)	0.1	0.1	0.1	0.2	0.1
Polifenoles (mg/l)	450	480	298	360	411

Se observan diferencias significativas en el pH, la acidez total y la concentración de polifenoles entre los tratamientos. Los mostos hiperoxigenados presentaron un pH ligeramente superior y una menor concentración de polifenoles totales, lo que sugiere una oxidación previa a la fermentación que puede influir en la estabilidad del color y la evolución sensorial del vino. En la fase post-fermentativa, los vinos hiperoxigenados mostraron una mayor estabilidad cromática y una menor concentración de tioles varietales, lo que impacta su perfil aromático en comparación con los vinos reductivos. Además, los valores de acidez volátil indican que la fermentación alcohólica en el vino control tardó más en iniciarse, favoreciendo la acumulación de precursores volátiles.

**Tabla 2. Parámetros fisicoquímicos pre y post fermentativos (2024).**

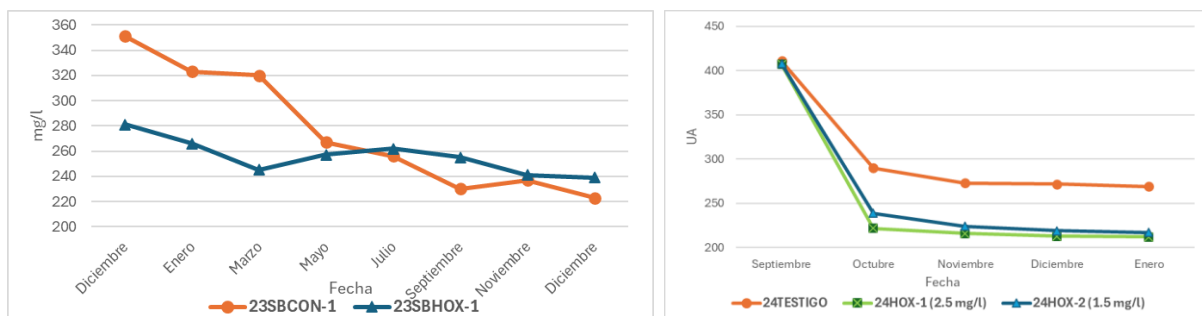
Parámetro	24HOX-1 Pref.	24HOX-2 Pref.	24TESTIGO Post.	24HOX-1 Post.	24HOX-2 Post.
BRIX	22.6	22.3			
Alcohol			12	12.1	12.4
pH	3.9	3.9	3.7	3.8	3.9
Acidez total (g/l)	4.7	4.5	5.6	6	5.3
Acidez volátil (g/l)	0.1	0.1	0	0.4	0.3
Turbidez (NTU)	148	150	170	126	165
O2D (mg/l)	1.5	0.9	0.4	0.7	0.5
SO2L (mg/L)	9	2	10	10	34
SO2T (mg/L)	14	12	113	22	133
Color (JA)	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
Polifenoles (mg/l)	407	408	290	222	239

Se observa que los mostos hiperoxigenados tuvieron un pH ligeramente más alto y menores concentraciones de polifenoles totales antes de la fermentación, lo que concuerda con la tendencia observada en la añada anterior. En la fase post-fermentativa, los vinos hiperoxigenados presentaron una menor necesidad de sulfitos libres, lo que sugiere que la oxidación controlada previa a la fermentación reduce la reactividad de los compuestos fenólicos, mejorando la estabilidad a largo plazo. Además, se aprecia una disminución en la acidez total en los mostos hiperoxigenados y una tendencia similar en la acidez volátil en comparación con la añada 2023, lo que resalta la consistencia del efecto del manejo del oxígeno en distintas cosechas.



**Figura 1. Evolución de la acidez volátil**

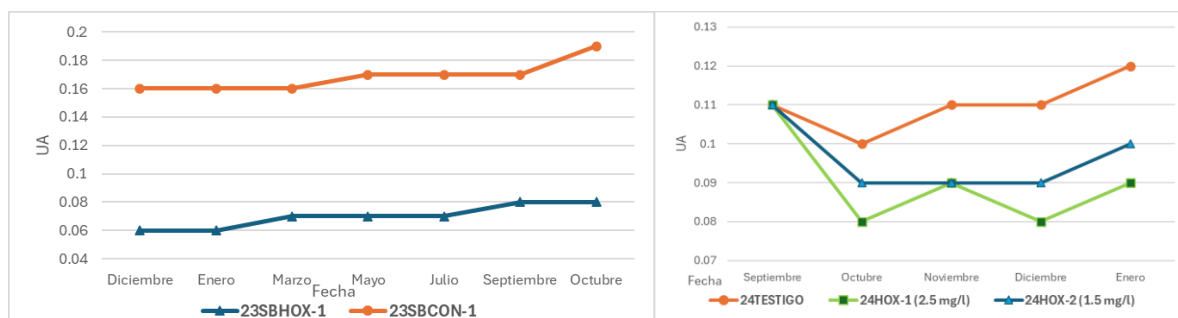
La figura 1 muestra la evolución de la acidez volátil en los vinos durante la fermentación y almacenamiento. Se observa que los vinos hiperoxigenados presentan una acidez volátil moderada, mientras que en la añada 2023 el vino control tiene una acidez volátil superior debido a un inicio tardío de la fermentación alcohólica. Se observó que los vinos hiperoxigenados presentaron una acidez volátil moderada, mientras que en la añada 2023, el vino control presentó valores más altos debido a un inicio más tardío de la fermentación alcohólica. Este retraso permitió la acumulación de precursores volátiles antes del inicio de la fermentación activa, lo que influyó en los niveles finales de acidez volátil.



**Figura 2. Concentración de polifenoles totales**

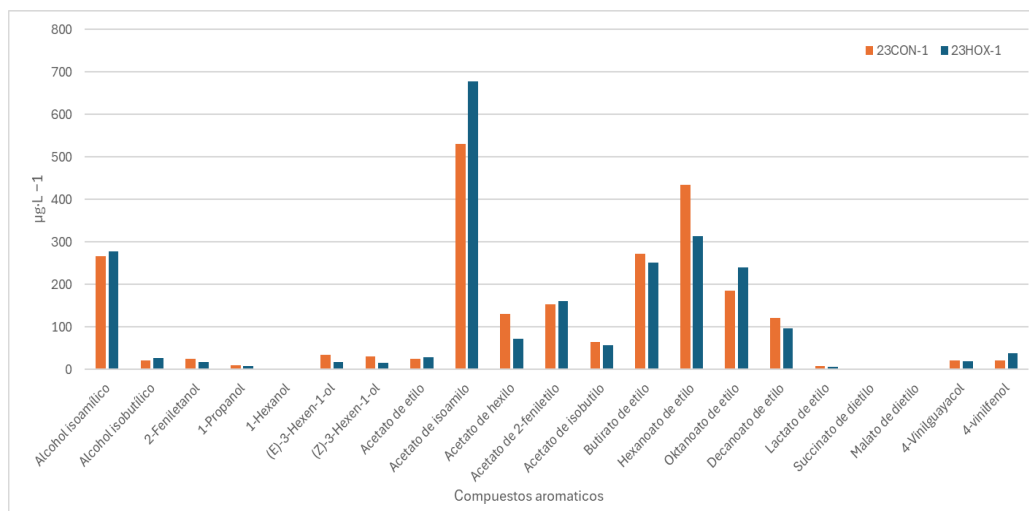
La figura 2 muestra la diferencia en la concentración de polifenoles entre los vinos hiperoxigenados y los vinos elaborados en condiciones reductoras. Los vinos hiperoxigenados presentan menores niveles de polifenoles, lo que indica una reducción significativa de estos compuestos durante las etapas iniciales del proceso. Este resultado refuerza la idea de que la hiperoxidación puede mejorar la estabilidad del color al eliminar precursores fenólicos reactivos. Se destaca que los vinos hiperoxigenados presentan menores niveles de polifenoles, lo que indica una

reducción significativa de estos compuestos durante las etapas iniciales del proceso.



**Figura 3. Comparación de la estabilidad del color (2023).**

En la figura 3 se observa la evolución del color de los vinos a lo largo del almacenamiento. Los vinos hiperoxigenados muestran una menor tendencia al pardeamiento, lo que confirma que la oxidación controlada en etapas tempranas puede contribuir a una mayor estabilidad cromática en el tiempo. Esto es particularmente relevante para la producción de vinos blancos que buscan minimizar cambios no deseados en su tonalidad.



**Figura 4. Composición de ésteres y alcoholes superiores en los vinos (2023).**

En la figura 4 se observa la distribución de los principales ésteres y alcoholes superiores en los vinos de ambos tratamientos. Los vinos tratados con oxigenación, presentan niveles menores de compuestos como los (E)(Z) Hexen-1-ol y hexanoato de etilo, que promueven aromas herbáceos, mientras que los tratamientos sin peroxidación mantienen elevados estos compuestos.



**Figura 5. Evaluación sensorial de los vinos.**

Esta figura 5 se muestra el resultado de la cata sensorial, destacando las diferencias percibidas entre los tratamientos. Los vinos hiperoxigenados fueron descritos con notas más maduras y menos frutales, mientras que los vinos reductivos mantuvieron aromas frescos y tropicales más pronunciados. Esto confirma que la composición química del vino tiene un impacto directo en su percepción sensorial y que el manejo del oxígeno durante la vinificación puede modular estas características en función del estilo deseado.

Estos resultados enfatizan la importancia del control del oxígeno en la vinificación y cómo su manejo estratégico puede ser una herramienta clave para modular la estabilidad química y sensorial del vino. La hiperoxidación permite una mayor estabilidad fenólica y cromática, mientras que la vinificación reductiva conserva mejor los aromas varietales. La elección de una técnica u otra dependerá del perfil de vino deseado y del mercado objetivo al que se dirige el producto final

## Discusión

La presente investigación tuvo como objetivo evaluar el impacto de la hiperoxidación controlada en comparación con la vinificación tradicional sulfitada en vinos blancos de la variedad *Sauvignon Blanc*, cultivada en el Valle de Guadalupe durante las cosechas 2023 y 2024. Para ello, se analizaron diversos parámetros fisicoquímicos, cromáticos, aromáticos y sensoriales, comparando tres tratamientos: hiperoxidación con 2.5 mg/L de oxígeno, hiperoxidación con 1.5 mg/L de oxígeno y vinificación tradicional con adición de 6 mg/hL de SO<sub>2</sub>.

Los resultados obtenidos indican que la hiperoxidación, correctamente aplicada, puede constituir una alternativa tecnológica viable para mejorar la estabilidad oxidativa del vino blanco y reducir el uso de sulfitos, sin comprometer la calidad sensorial ni la seguridad microbiológica.

### Efectos sobre la composición fisicoquímica

Los vinos sometidos a hiperoxidación mostraron, en general, una ligera reducción en el contenido final de etanol en comparación con los vinos elaborados mediante vinificación tradicional. Esta diferencia podría explicarse por una pérdida parcial de azúcares fermentables, derivada de reacciones de oxidación no enzimáticas previas a la fermentación. Ribéreau-Gayon et al. (2006) señalan que la oxidación de compuestos fenólicos y precursores de fermentación puede alterar el equilibrio redox del mosto y afectar ligeramente la eficiencia fermentativa.

Asimismo, se observó una tendencia al aumento del pH y una disminución de la acidez total en los tratamientos hiperoxigenados. Este comportamiento es consistente con lo reportado por Jackowetz y Mira de Orduña (2012), quienes documentaron que el oxígeno puede inducir la degradación de ácidos orgánicos como el tartárico y el málico, alterando el equilibrio ácido-base del vino. Esto podría tener implicaciones sensoriales, ya que una menor acidez puede reducir la percepción de frescura, especialmente importante en vinos blancos jóvenes y aromáticos como el *Sauvignon Blanc*.

## Estabilidad microbiológica y acidez volátil

La acidez volátil, evaluada principalmente como ácido acético, es un parámetro clave para valorar la estabilidad microbiológica de los vinos. En este estudio, los tratamientos con hiperoxidación (2.5 y 1.5 mg/L de oxígeno) mostraron niveles similares o incluso inferiores de acidez volátil en comparación con la vinificación sulfitada (véase Figura 1). Este hallazgo es relevante, ya que sugiere que la hiperoxidación no compromete la integridad microbiológica del vino, incluso en ausencia de SO<sub>2</sub>, tradicionalmente utilizado como protector frente a bacterias acéticas.

La eliminación de compuestos fermentables residuales y polifenoles fácilmente oxidables podría estar limitando la actividad microbiana (Jackson, 2020; Romano et al., 2003). Estos resultados coinciden con estudios previos que indican que la reducción de compuestos reactivos disminuye la susceptibilidad del vino a contaminaciones post-fermentativas (Nardi et al., 2019).

Además, la hiperoxidación aplicada en etapas tempranas podría generar condiciones menos favorables para el desarrollo de microorganismos productores de ácido acético, al reducir la disponibilidad de oxígeno disuelto durante la crianza. Esto concuerda con lo señalado por Bisson et al. (2017), quienes destacan que una correcta gestión del oxígeno en fases iniciales puede mejorar la estabilidad química y microbiológica del vino. No obstante, este efecto solo se mantiene si se garantiza una estricta higiene en todo el proceso y se aplican protocolos complementarios de control microbiológico, dado que la ausencia de sulfitos implica mayores riesgos en condiciones subóptimas de almacenamiento.

## Cambios cromáticos y polifenólicos

Los vinos sometidos a hiperoxidación presentaron una mayor absorbancia a 420 nm, lo que indica una mayor presencia de pigmentos amarillos, consecuencia típica de la oxidación controlada de ácidos hidroxicinámicos (Cheynier et al., 1990). Esta oxidación favorece la formación de quinonas que se polimerizan o precipitan, generando un mosto más estable frente a la oxidación. Por el contrario, los vinos sulfitados conservaron un color más pálido, pero también más susceptible a cambios

durante el almacenamiento. Al evitar la oxidación inicial, los polifenoles reactivos permanecen activos, lo que puede incrementar el riesgo de pardeamiento si el SO<sub>2</sub> se degrada o consume con el tiempo.

Los análisis de polifenoles totales mostraron menores concentraciones en los tratamientos hiperoxigenados. Esta reducción es deseada, ya que, durante la hiperoxidación, los polifenoles más reactivos se oxidan, precipitan o transforman en compuestos más estables (Singleton, 1987). Entre ellos destacan el ácido caftárico y otros ácidos hidroxicinámicos, cuyas reacciones iniciales contribuyen a la formación de pigmentos amarillos estables.

Desde el punto de vista cromático, los vinos elaborados mediante hiperoxidación presentaron un color amarillo más intenso y estable a lo largo del tiempo, resultado de la formación de pigmentos derivados de la oxidación de ácidos hidroxicinámicos y su posterior polimerización. Este comportamiento contrasta con los vinos elaborados por métodos tradicionales con sulfitado, que, si bien conservaron un tono más pálido en sus primeras etapas, se enfrentan a un mayor riesgo de pardeamiento si el SO<sub>2</sub> libre no se mantiene adecuadamente durante el almacenamiento o la distribución. De este modo, la hiperoxidación, cuando se aplica correctamente, puede actuar como una forma de oxidación preventiva, permitiendo controlar el desarrollo cromático de forma anticipada y segura (Waterhouse et al., 2016).

#### Perfil aromático

En cuanto al perfil aromático, se observó una clara diferencia entre los vinos sulfitados y los hiperoxigenados. Los primeros conservaron mejor los aromas varietales típicos del *Sauvignon Blanc*, como maracuyá, guayaba y pomelo, atribuibles a los compuestos tiólicos 3MH y 3MHA, los cuales son extremadamente sensibles al oxígeno (Coetzee et al., 2013). En contraste, los vinos hiperoxigenados desarrollaron un perfil menos fresco, pero más complejo y redondeado, con notas de fruta madura, flor seca y matices melosos. Esta evolución aromática se atribuye a la transformación de aldehídos y alcoholes durante la oxidación y fermentación, así como a la reducción de compuestos verdes como el hexenal y el cis-3-hexenol.

Los vinos sometidos a hiperoxidación perdieron parte de su expresividad varietal, especialmente en lo referente a aromas frescos y frutales típicos del Sauvignon blanc, como maracuyá, guayaba y cítricos. Esta pérdida está relacionada con la degradación de compuestos tiólicos volátiles, los cuales son particularmente sensibles a la presencia de oxígeno. Sin embargo, dicha disminución fue compensada por la aparición de notas más complejas y maduras, que evocan fruta blanca madura, flor seca y toques melosos, indicando una evolución aromática positiva y una menor susceptibilidad a la degradación en botella (Wang et al., 2023). Así, la hiperoxidación no solo modifica el perfil aromático, sino que puede adaptarse para generar estilos de vino diferentes, orientados a consumidores que prefieren vinos blancos con mayor redondez, estructura y complejidad.

### Evaluación sensorial

La evaluación sensorial, realizada por un panel profesional de enólogos y sommeliers, permitió correlacionar los resultados analíticos con la percepción organoléptica. En general, los vinos hiperoxigenados fueron percibidos como más estables, con menor intensidad aromática varietal, pero con mayor redondez y complejidad, destacando notas de frutos secos, flor seca y fruta blanca madura.

Por su parte, los vinos elaborados bajo condiciones reductivas con  $\text{SO}_2$  mostraron mayor intensidad aromática, frescura en boca y persistencia en aromas cítricos y tropicales. Sin embargo, también fueron percibidos como más vulnerables a la oxidación una vez abiertas las botellas, lo que refuerza la necesidad de un manejo cuidadoso del  $\text{SO}_2$  durante la conservación y distribución (Torrens et al., 2008).

Desde una perspectiva sensorial, los vinos hiperoxigenados fueron percibidos como más redondeados, suaves en boca, y con una persistencia aromática mayor, mientras que los vinos tradicionales con  $\text{SO}_2$  se caracterizaron por su viveza, expresividad frutal y sensación de acidez. Sin embargo, estos últimos también demostraron una mayor fragilidad oxidativa una vez abierta la botella, lo cual podría afectar negativamente su vida útil en condiciones reales de consumo (Jose-Coutinho et al., 2015). La comparación sensorial permite afirmar que cada técnica genera un estilo de vino distinto, y su elección dependerá de los objetivos enológicos, del perfil del consumidor y del tipo de mercado al que se desea dirigir el producto.

## **Conclusión**

A partir de los resultados obtenidos en esta investigación, se determinó que la hiperoxidación controlada aplicada a vinos blancos de la variedad Sauvignon blanc constituye una estrategia tecnológica eficaz para reducir la presencia de polifenoles oxidables en el mosto, mejorando así la estabilidad del color final del vino y disminuyendo la necesidad de utilizar sulfitos como agente antioxidante.

Esta diferencia de la evaluación sensorial entre añadas sugiere que aun con el mismo tratamiento tecnológico, las condiciones climáticas y la madurez de la uva pueden influir notablemente en la expresión sensorial, redirigiendo la expresión sensorial hacia una madurez controlada, con menor explosividad frutal pero mayor integración aromática.

Los tratamientos hiperoxigenados mostraron una tendencia a presentar valores más altos de pH y menores de acidez total. Esta característica puede tener implicaciones importantes en la percepción de frescura del vino, especialmente en climas cálidos como el del Valle de Guadalupe.

El uso de la hiperoxidación puede considerarse una alternativa tecnológica viable y sostenible para la elaboración de vinos blancos con bajo contenido de sulfitos. Esta técnica, al aplicarse en las etapas iniciales del proceso, particularmente durante el prensado, permite modificar de forma anticipada el potencial oxidativo del mosto, disminuyendo así la necesidad de intervenciones posteriores.

Basado en nuestros resultados, se propone que futuras investigaciones se explore la combinación de hiperoxidación con otras prácticas enológicas, como la crianza sobre lías, el uso de levaduras no-Saccharomyces, o la adición de antioxidantes naturales como taninos hidrolizables o extractos de piel de uva. Estas estrategias podrían potenciar la estabilidad química y sensorial del vino, a la vez que ofrecen herramientas adicionales para sustituir o reducir el uso de aditivos sintéticos, sin comprometer la calidad final del producto.

## Literatura citada

1. Arena, E., & Muratore, G. (2010). Influence of bottle storage on the volatile composition and sensory profile of white wines. *Journal of Food Quality*, 33(5), 574–587. <https://doi.org/10.1111/j.1745-4557.2010.00344.x>
2. Arena, E., Rizzo, V., Licciardello, F., Fallico, B., & Muratore, G. (2021). Effects of light exposure, bottle colour and storage temperature on the quality of Malvasia delle Lipari sweet wine. *Foods*, 10(8), 1881. <https://doi.org/10.3390/foods10081881>
3. Bastow, B. (2016). Effects of hyperoxidation on white wine phenolics, varietal thiols and volatile aromas. *University of Auckland Digital Masters Theses*. Retrieved from <https://researchspace.auckland.ac.nz/items/bb799b79-158c-4099-acc6-4755e5d81dfd>
4. Bastow, B. (2016). Effects of hyperoxidation on white wine phenolics, varietal thiols and volatile aromas. *University of Auckland Digital Masters Theses*. <https://researchspace.auckland.ac.nz/items/bb799b79-158c-4099-acc6-4755e5d81dfd>
5. Cejudo-Bastante, M. J., Castro-Vázquez, L., Hermosín-Gutiérrez, I., & Pérez-Coello, M. S. (2011). Combined effects of prefermentative skin maceration and must oxygenation on phenolic compounds, volatile composition, and sensory characteristics of Airén white wine. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 59(24), 12171–12182. <https://doi.org/10.1021/jf203391d>
6. Cheynier, V., Souquet, J. M., Samson, A., & Moutounet, M. (1991). Influence of hyperoxidation on the kinetics of oxidation of phenolic compounds and wine quality. *Vitis*, 30(2), 107–115. <https://doi.org/10.5073/vitis.1991.30.107-115>
7. Coetzee, C., Lisjak, K., Nicolau, L., Kilmartin, P. A., & du Toit, W. J. (2013). Oxygen and sulfur dioxide additions to *Sauvignon blanc* must: Effect on must and wine composition. *Flavour and Fragrance Journal*, 28(3), 155–167. <https://doi.org/10.1002/ffj.3133>
8. Day, M., Schmidt, S. A., Smith, P. A., & Wilkes, E. N. (2015). The use and impact of oxygen during winemaking. *Australian Journal of Grape and Wine Research*, 21(4), 693–704. <https://doi.org/10.1111/ajgw.12194>

9. Gambuti, A., Siani, T., & Moio, L. (2013). Effect of wine phenolics on color stability and tannin evolution during wine aging. *European Food Research and Technology*, 237(6), 763–772. <https://doi.org/10.1007/s00217-013-2040-5>
10. Jose-Coutinho, A., Avila, P., & Ricardo-Da-Silva, J. M. (2015). Sensory profile of Portuguese white wines using long-term memory: A novel nationwide approach. *Journal of Sensory Studies*, 30(5), 381-394.
11. Kanavouras, A., Coutelieris, F., Karanika, E., Kotseridis, Y., & Kallithraka, S. (2020). Color change of bottled white wines as a quality indicator. *OENO One*, 54(3), 567–575. <https://doi.org/10.20870/oeno-one.2020.54.3.3367>
12. Li, H., Guo, A., & Wang, H. (2008). Mechanisms of oxidative browning of wine. *Food Chemistry*, 108(1), 1–13. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2007.10.065>
13. Moreno-Arribas, M. V., & Polo, M. C. (2009). *Wine Chemistry and Biochemistry*. Springer. <https://doi.org/10.1007/978-0-387-74118-5>
14. Ribéreau-Gayon, P., Dubourdieu, D., Donèche, B., & Lonvaud, A. (2006). *Handbook of Enology, Volume 1: The Microbiology of Wine and Vinifications*. John Wiley & Sons. <https://doi.org/10.1002/9780470010364>
15. Rihak, Z., Prusova, B., & Baron, M. (2022). Effect of must hyperoxygenation on sensory expression and chemical composition of the resulting wines. *Molecules*, 27(1), 235. <https://doi.org/10.3390/molecules27010235>
16. Savastano, M. L. (2019). Evolution of phenolic and volatile compounds during bottle storage of a white wine without added sulfite. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 99(3), 1234–1245. <https://doi.org/10.1002/jsfa.8987>
17. Schneider, V. (1998). Must hyperoxidation: A review. *American Journal of Enology and Viticulture*, 49(1), 65–73. <https://www.ajevonline.org/content/49/1/65>
18. Singleton, V. L., & Rossi, J. A. (1965). Colorimetry of total phenolics with phosphomolybdic-phosphotungstic acid reagents. *American Journal of Enology and Viticulture*, 16(3), 144–158. <https://www.ajevonline.org/content/16/3/144>
19. Tarko, T., Duda-Chodak, A., & Sroka, P. (2020). The impact of oxygen at various stages of winemaking on the chemical composition and antioxidant properties of white and red wines. *International Journal of Food Science*, 2020. <https://doi.org/10.1155/2020/7902974>

20. Tian, R. R., Pan, Q. H., & Zhan, J. C. (2009). Comparison of phenolic acids and flavan-3-ols during wine fermentation from grapes with different harvest times. *Molecules*, 14(2), 827–838. <https://doi.org/10.3390/molecules14020827>
21. Torrens, J., Urpí, P., Riu-Aumatell, M., Vichi, S., López-Tamames, E., & Buxaderas, S. (2008). Different commercial yeast strains affecting the volatile and sensory profile of cava base wine. *International journal of food microbiology*, 124(1), 48-57.
22. Wang, X., Fan, G., Peng, Y., Xu, N., Xie, Y., Zhou, H., ... & You, Y. (2023). Mechanisms and effects of non-Saccharomyces yeast fermentation on the aromatic profile of wine. *Journal of Food Composition and Analysis*, 124, 105660.
23. Waterhouse, A. L. (2002). Wine phenolics. *Annals of the New York Academy of Sciences*, 957(1), 21–36. <https://doi.org/10.1111/j.1749-6632.2002.tb02903.x>
24. Zironi, R., Celotti, E., & Battistutta, F. (1997). Research for a marker of the hyperoxygenation treatment of musts for the production of white wines. *American Journal of Enology and Viticulture*, 48(2), 150–156. <https://doi.org/10.5344/ajev.1997.48.2.150>