



**UNIVERSIDAD DE TALCA
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS
ESCUELA DE AGRONOMÍA**

**EVALUACIÓN DE LA CAPACIDAD DE CONSUMO DE OXÍGENO EN VINOS CABERNET
SAUVIGNON Y SAUVIGNON BLANC**

MEMORIA DE TÍTULO

CATALINA PAZ ÁLVAREZ SÁNCHEZ

TALCA, 2019



**UNIVERSIDAD DE TALCA
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS
ESCUELA DE AGRONOMÍA**

**EVALUACIÓN DE LA CAPACIDAD DE CONSUMO DE OXÍGENO EN VINOS CABERNET
SAUVIGNON Y SAUVIGNON BLANC**

Por

CATALINA PAZ ÁLVAREZ SÁNCHEZ

MEMORIA DE TÍTULO

Presentada a la
Universidad de Talca como
Parte de los requisitos para optar al título de

INGENIERO AGRÓNOMO

TALCA, 2019

CONSTANCIA

La Dirección del Sistema de Bibliotecas a través de su unidad de procesos técnicos certifica que el autor del siguiente trabajo de titulación ha firmado su autorización para la reproducción en forma total o parcial e ilimitada del mismo.

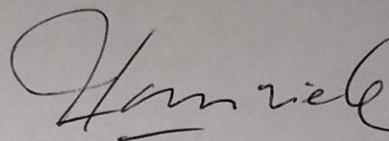


Talca, 2019

DEDICATORIA.

Dedico la presente memoria a mi padre e hija.

“Análisis técnico y económico de red domiciliaria de agua potable y alcantarillado en viviendas en serie optimizando recursos, en la Provincia de Curicó”

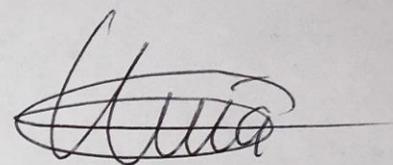


Profesor Guía
Gleisner

Ing. Agr., M.S., Ph. D., Víctor Felipe Laurie

Facultad de Ciencia Agrarias

Universidad de Taca



Profesor Informante

Lic. M.S., Ph., María Asunción Navarro

Facultad de Ciencia Agrarias

Universidad de Taca

Fecha de presentación de la Memoria: 17 de abril de 2019.

RESUMEN

La exposición moderada del vino al oxígeno del aire puede ser beneficiosa para su calidad, mejorando aspectos de su estabilidad química y propiedades sensoriales. La capacidad de diferentes vinos para interactuar con oxígeno depende en gran medida de su composición química donde sustancias oxidables y antioxidantes como los compuestos fenólicos y el anhídrido sulfuroso (SO_2) son fundamentales.

En este estudio se evaluó la capacidad de consumo de oxígeno disuelto en el tiempo en vinos de las variedades Sauvignon Blanc y Cabernet Sauvignon, mediante exposiciones sucesivas del vino al aire atmosférico. El consumo de oxígeno de los vinos fue analizado mediante el seguimiento de su concentración disuelta en el tiempo, utilizando un detector de fotoluminiscencia no destructivo. Además de lo anterior, se analizó el contenido fenólico y de sulfitos de los vinos como una forma de explicar las eventuales diferencias en el consumo de oxígeno entre vino blanco y vino tinto.

Los resultados de este estudio mostraron diferencias en el consumo de oxígeno entre Sauvignon blanc y Cabernet Sauvignon, donde también se evidenciaron diferencias en el contenido de fenoles totales de los vinos expuestos al aire, además de una pérdida progresiva de SO_2 . Se logró describir los patrones de consumo de oxígeno en los vinos estudiados y se observó que dichos patrones están relacionados con su contenido de compuestos fenólicos, y su concentración de SO_2 .

ABSTRACT

The moderate exposure of wine to the oxygen can be beneficial for its quality, improving aspects of its chemical stability and sensory properties. The ability of different wines to interact with oxygen depends to a large extent on their chemical composition, where oxidizable substances and antioxidants such as phenolic compounds and sulfur dioxide (SO₂) are essential.

In this study, the dissolved oxygen consumption capacity over time in wines of the varieties Sauvignon blanc and Cabernet Sauvignon were evaluated, by means of studying successive exposures of the wines to atmospheric air. The oxygen consumption was analyzed by monitoring their concentration dissolved over time, using a non-destructive photoluminescence detector. In addition to the above, the phenolic and sulphite content of the wines was analyzed as a way to explain the possible differences in oxygen consumption between white wine and red wine.

The results of this study showed differences in the oxygen consumption between Sauvignon blanc and Cabernet Sauvignon, where differences in the content of total phenols of the wines exposed to air were also evidenced, in addition to a progressive loss of SO₂. It was possible to describe the patterns of oxygen consumption in the wines studied and observed that these patterns are related to their content of phenolic compounds, and their SO₂ concentration.

ÍNDICE

	Página
I. INTRODUCCIÓN	1
1.1. Hipótesis	2
1.2. Objetivo específico	2
II. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA	3
2.1. Producción de vino en Chile	3
2.2. Oxígeno y vino	3
2.3. Reacciones de oxidación en el vino	4
2.4. Oxidación y fenoles	5
2.5 Oxidación y anhídrido sulfuroso	6
2.6. Oxidación en vino	6
2.7. Consumo de oxígeno en vino	7
2.8. Oxígeno disuelto en vino	8
III. MATERIALES Y MÉTODOS	9
3.1. Evaluación del consumo de oxígeno disuelto en vino blanco (Sauvignon blanc) y vino tinto (Cabernet Sauvignon).	9
3.2. Determinaciones analíticas	11
3.2.1 Medición de oxígeno disuelto por NomaSense O ₂	11
3.2.2 Evaluación de absorbancia a 280, 420, 520 y 620 nm.	11
3.3.3 Determinación de la concentración de SO ₂ libre y SO ₂ total.	12
3.3.4 Análisis descriptivo y estadístico.	12
IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	13
4.1. Evaluación del consumo de oxígeno disuelto (OD) en vinos con analizador de oxígeno NomaSense O ₂	13
4.1.1 Consumo de OD en vino blanco (cv. Sauvignon blanc).	13

4.1.2 Consumo de OD en vino tinto (cv. Cabernet Sauvignon).....	15
4.1.3 Comparación de consumo OD entre Sauvignon blanc y Cabernet Sauvignon. ...	17
4.2. Evaluación del contenido de fenoles determinando absorbancia a 280, 420, 520 y 620 nm.....	17
4.3. Comparación de la concentración de SO ₂ libre y SO ₂ total en vinos cv Sauvignon blanc y cv. Cabernet Sauvignon.	22
4.3.1 Concentración de SO ₂ en vino Sauvignon blanc.	22
4.3.2 Concentración de SO ₂ en vino tinto Cabernet Sauvignon.....	23
4.3.3 Concentración de SO ₂ libre en vino blanco Sauvignon blanc vs. Vino tinto Cabernet Sauvignon.	24
V. CONCLUSIONES	26
VI. CITAS BIBLIOGRÁFICAS	27
VII. ANEXOS	30

ÍNDICE DE CUADROS

	Página
Cuadro 1 Operaciones de vinificación vs. Oxígeno disuelto (mg/L) (Fuente: Vidal <i>et al.</i> , 2001; Castellari <i>et al.</i> ; 2004; Carrasco,2014).....	8
Cuadro 2 Características principales de los vinos empleados en el ensayo.....	9
Cuadro 3 Promedios de concentración de SO ₂ libre medidos en ppm en Sauvignon blanc.....	22
Cuadro 4 Promedios de concentración de SO ₂ libre medidos en ppm en Cabernet Sauvignon.....	23

ÍNDICE DE FIGURAS

	Página
Figura 1 Aireación y saturación de los vinos con agitador magnético.....	10
Figura 2 Medición de oxígeno disuelto con analizador NomaSense.....	11
Figura 3 Consumo de oxígeno disuelto expresado en mg/L de botellas de tratamiento y control en Sauvignon Blanc frente al tiempo en días.....	14
Figura 4 Tratamiento vs control al final del ensayo de Sauvignon blanc.....	15
Figura 5 Consumo de oxígeno disuelto expresado en mg/L de botellas de tratamiento y control en Cabernet Sauvignon frente al tiempo en días.....	15
Figura 6 Tratamiento vs control al final del ensayo de Cabernet Sauvignon.....	16
Figura 7 Absorbancias a longitud de onda de 280 nm para muestras de vino tinto Cabernet Sauvignon y vino blanco Sauvignon blanc al momento inicial del ensayo y final del ensayo Las letras minúsculas representan diferencias estadísticamente significativas entre Cabernet Sauvignon inicial y final. Letras mayúsculas representan diferencias estadísticamente significativas entre Sauvignon blanc inicial y final.....	18
Figura 8 Absorbancias a longitud de onda de 420 nm para muestras vino blanco Sauvignon blanc al momento inicial del ensayo y final del ensayo Las letras minúsculas representan diferencias estadísticamente significativas entre tratamiento inicial y final. Letras mayúsculas representan diferencias estadísticamente significativas entre control inicial y control final.....	19
Figura 9 Absorbancias a longitud de onda de 420 nm para muestras vino tinto Cabernet Sauvignon al momento inicial y final del ensayo Las letras minúsculas representan diferencias estadísticamente significativas entre	

tratamiento inicial y final. Letras mayúsculas representan diferencias estadísticamente significativas entre control inicial y control final..... **20**

Figura 10 Absorbancias a longitud de onda de 520 nm para muestras vino tinto Cabernet Sauvignon al momento inicial y final del ensayo Las letras minúsculas representan diferencias estadísticamente significativas entre tratamiento inicial y final. Letras mayúsculas representan diferencias estadísticamente significativas entre control inicial y control final..... **21**

Figura 11 Absorbancias a longitud de onda de 620 nm para muestras vino tinto Cabernet Sauvignon al momento inicial y final del ensayo Las letras minúsculas representan diferencias estadísticamente significativas entre tratamiento inicial y final. Letras mayúsculas representan diferencias estadísticamente significativas entre control inicial y control final..... **21**

Figura 12 Promedios de concentraciones de SO₂ libre para muestras de vino tinto Cabernet Sauvignon y vino blanco Sauvignon blanc al momento inicial del ensayo y final del ensayo. Las letras minúsculas representan diferencias estadísticamente significativas entre Cabernet Sauvignon inicial y final. Letras mayúsculas representan diferencias estadísticamente significativas entre Sauvignon blanc inicial y final..... **24**

I. INTRODUCCIÓN

En los últimos años, el vino chileno se ha posicionado como uno de los con mayor prestigio del mundo, siendo superado solo por países con vasta trayectoria o repercusión en la industria vitivinícola mundial (Al Attrach, 2015). Lo anterior ha llevado a la vitivinicultura chilena a buscar nuevas alternativas para el mejoramiento de sus vinos, tales como la implementación de nuevas tecnologías a nivel de campo y bodega tendientes a controlar los factores más predominantes que influyen en la calidad y competitividad de los vinos. Un ejemplo de lo anterior es la gestión del oxígeno en la vinificación, cuya presencia puede causar mejoras significativas o defectos irreversibles en los vinos. Cabe mencionar que resulta muy difícil producir un vino que no tenga contacto con oxígeno debido a que su presencia en la atmósfera es cercana a un 21% del aire (Calderón *et al.*, 2014).

Las reacciones de oxidación y reducción ocurren permanentemente durante el proceso de vinificación, causando cambios importantes en el color, aroma y sabor de los vinos. Dichas reacciones, que ocurren tanto en el mosto como en el vino embotellado, son dependientes de la concentración de oxígeno presente, y de la composición y concentración de compuestos fenólicos, entre otros (Singleton, 1987). En el caso de los vinos tintos la exposición controlada al oxígeno es fundamental para promover reacciones de oxidación limitadas y producir vinos tintos de calidad (Laurie y Peña, 2010; Guillou, 2012; Carrascón *et al.*, 2017). Cuando el vino es sometido a exposiciones prolongadas de oxígeno, pueden ocurrir cambios leves o dramáticos del color, astringencia y expresión aromática (Brajkovich *et al.*, 2005; Carrascón *et al.*, 2017), los que serían más evidentes en el caso de los vinos blancos. Estos vinos contienen hasta diez veces menos concentración de compuestos fenólicos y por ende, se ven afectados más rápidamente por las exposiciones al oxígeno en comparación al vino tinto que es capaz de tolerar grandes cantidades de oxígeno.

Por otra parte, cuando ocurren estas reacciones de oxidación-reducción durante el proceso de producción del vino, el oxígeno es transformado a especies no reactivas debido a la presencia de compuestos como el anhídrido sulfuroso (SO_2); siendo este uno de los agentes reductores más importantes en el vino junto al ácido ascórbico y el glutatión (Zironi *et al.*, 2009). Dichas sustancias ejercen una acción protectora contra el avance de las reacciones de oxidación, pudiendo además ralentizar estas reacciones dependiendo de su concentración dentro del vino (Du Toit *et al.*, 2006 citado en Guillou 2012).

En consideración a lo anterior, el objetivo de este estudio fue evaluar la capacidad de consumo de oxígeno del vino vinculado a su contenido fenólico y concentración de anhídrido sulfuroso.

La hipótesis y objetivo específico del estudio son:

1.1. Hipótesis

La cantidad total de oxígeno que puede consumir un vino es directamente proporcional a su concentración de compuestos fenólicos, mientras que la velocidad inicial de consumo es dependiente de la concentración de anhídrido sulfuroso.

1.2. Objetivo específico

Identificar la relación entre el consumo de oxígeno de vinos Cabernet Sauvignon y Sauvignon blanc con su contenido de compuestos fenólicos totales y anhídrido sulfuroso.

II. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

2.1. Producción de vino en Chile

Chile cuenta con más de 130 mil hectáreas de viñas establecidas para vinificación, las cuales tienen un potencial de producción de vino de aproximadamente 1.200 millones de litros, ocupando así el cuarto lugar a nivel mundial en exportación de esta bebida, siendo sobrepasado ampliamente por Francia, España e Italia. A fines de 2017, la superficie de viñedos destinados para vinificación en Chile alcanzó específicamente las 135.907,75 hectáreas. El 73,4% de esta superficie corresponde a variedades tintas lideradas por el cultivar Cabernet Sauvignon con 41.155,97 ha y el 26,6% a variedades blancas siendo el más predominante Sauvignon Blanc con 15.161,98 ha (ODEPA, 2017).

Debido al potencial de crecimiento que tiene la producción de vino en el país, es imprescindible realizar estudios que puedan aportar al desarrollo comercial de este producto, de forma de investigar los factores cruciales que contribuyen a aumentar su calidad, y mejorar su potencial de comercialización.

2.2. Oxígeno y vino

En la elaboración de vino, la participación del oxígeno atmosférico es crucial y tiene un efecto determinante en la calidad y longevidad del producto, ya que está presente desde la cosecha y transporte de las uvas, además de los distintos procesos de vinificación en bodega, incluyendo la embotellación y guarda del vino (Calderón *et al.*,2014; Carrascón *et al.*,2017)

Las características positivas o negativas que adquiera el vino en contacto con el oxígeno dependerán de la concentración y tiempo en el que el producto ha sido expuesto a este gas, así como de la composición química del vino (Ugliano *et al.*,2012). Una concentración significativa de oxígeno disuelto es capaz de desencadenar procesos oxidativos de importantes reactantes químicos como los fenoles, lo que conlleva a modificaciones de características positivas predominantes en el vino como el color, aroma y sabor (Singleton,1987).

A nivel de bodega, en varias ocasiones ocurren exposiciones de oxígenos descontroladas que pueden ser perjudiciales para la calidad y longevidad del vino (Laurie, *et al.* 2016). Al tratarse de

una molécula presente en el aire, cantidades variables de oxígeno están permanentemente siendo disueltas en el vino cada vez que este es agitado, trasegado, o incluso en condiciones estáticas de guarda (del Álamo, 2012; Calderón *et al.*, 2014; Laurie, *et al.* 2016). Por el contrario, cuando la gestión del oxígeno es la adecuada para cada tipo de vino, la calidad del producto puede aumentar (Singleton *et al.*,1978).

2.3. Reacciones de oxidación en el vino

La oxidación se define como el proceso químico en el cual un compuesto sufre la pérdida de átomos de hidrógeno, cediendo electrones, por lo que aumenta su estado de oxidación (Waterhouse y Laurie, 2006). Por el contrario, en el proceso de reducción se provoca la ganancia de átomos de hidrógeno, con la concomitante ganancia de electrones (Waterhouse y Laurie, 2006 citado en Guillou 2012). Estas dos reacciones están ligadas debido a que si una sustancia se oxida la otra obligatoriamente se reducirá (Hill y Kolb,2000).

En las diferentes etapas de vinificación pueden ocurrir procesos de oxidación enzimática y no enzimática (Cilliers y Singleton, 1990). Cuando se procesan las uvas durante la molienda para obtener mosto se desencadenan procesos de oxidación enzimática donde los fenoles en el mosto pueden ser catalizados por distintas enzimas, siendo la más estudiada en la industria de los alimentos la polifenoloxidasas la cual produce el conocido fenómeno de “pardeamiento enzimático” (Cheynier *et al.*, 2000; Li *et al.*, 2008 citado en Guillou 2012). Estos procesos son inactivados posteriormente por efecto del etanol producido en la fermentación alcohólica, dando paso a las reacciones oxidativas de tipo no enzimáticas, las cuales ocurren en ausencia de estas enzimas y son catalizadas por metales de transición (Danilewicz, 2003; Waterhouse y Laurie, 2006).

Tal como ya se mencionó, uno de los componentes que participan fuertemente en las reacciones de óxido-reducción son los fenoles, los cuales, debido a su importante concentración en los vinos, podrían influir de manera directa o indirecta en las características sensoriales y propiedades biológicas del producto final, tales como la astringencia, el amargor y el color de los vinos (Cheynier *et al.*, 2000 citado en Guillou 2012).

2.4. Oxidación y fenoles

Las reacciones de oxidación de los compuestos fenólicos pueden cambiar el perfil químico y las características organolépticas de los vinos (Waterhouse *et al.*,2005). Desde el punto de vista químico los fenoles se caracterizan por poseer un núcleo bencénico que lleva uno o varios grupos hidroxilos (Cheynier *et al.*,2000). Su clasificación se basa en la distinción entre compuestos flavonoides, presentes en las pieles y semillas de las bayas, y los no flavonoides, presentes principalmente en la pulpa (Ojeda,2007).

Hoy en día se sabe con certeza que las reacciones relevantes que llevan al desarrollo de oxidación en vinos dependen de variados componentes presentes en el mosto de uva y en el vino, entre ellos los más importantes son: el oxígeno, iones metálicos catalizadores como el hierro y cobre, anhídrido sulfuroso (SO₂), concentración y composición de los fenoles, siendo estos últimos los más susceptibles a la oxidación (Oliveira *et al.*, 2011 citado en Guillou 2012).

El contenido de los polifenoles en vinos se ha evaluado en diversos estudios (Bordeu y Scarpa, 2000) los cuales indican la gran variabilidad en concentración de este tipo de sustancias en el vino. La composición fenólica del vino está dada por diversos factores, dentro de los cuales destaca la variedad de uvas. La cantidad de fenoles totales en vinos tintos es superior a la de vinos blancos debido a la presencia de antocianos, así como también por una mayor concentración de taninos (Bordeu y Scarpa, 2000; Ojeda, 2007 citado en Guillou 2012). Del mismo modo, la cantidad de compuestos no flavonoides presentes en vinos tintos resulta ser más elevada que en vinos blancos. Es por estas razones que la oxidación del vino se relaciona directamente con el contenido de fenoles, donde en el caso de vinos blancos existiría una menor cantidad de este tipo de constituyentes que podrían reaccionar con las formas activas del oxígeno en solución en comparación al vino tinto (Bordeu y Scarpa, 2000; Ojeda, 2007 citado en Guillou 2012).

Cabe destacar que existen muchos métodos para analizar la concentración de compuestos fenólicos totales en un vino, siendo los más utilizados el método de Folin-Ciocalteu el cual propone una oxidación de compuestos fenólicos con el reactivo del mismo nombre, lo que ocasiona una coloración azul medible a 750 nm, la cual es directamente proporcional al contenido de polifenoles (Singleton, 1965). Además del anterior, la presencia de núcleos bencénicos, característicos de los compuestos fenólicos de los vinos, y que absorben fuertemente en el rango de luz ultravioleta, con un máximo a los 280 nm, permite la utilización de este método para cuantificar el contenido de fenoles totales (Paronetto, 1979).

Por otra parte, hay agentes reductores a parte de los fenoles, que son muy importantes en el control de la oxidación del vino tales como el ácido ascórbico, el glutatión y el anhídrido sulfuroso (SO_2), siendo este último el más relevante, capaz de revertir o limitar los procesos oxidativos (Zironi *et al.*, 2009).

2.5 Oxidación y anhídrido sulfuroso

El vino embotellado rara vez se satura con oxígeno, debido a que está menos expuesto al contacto con el aire en comparación a los procesos de vinificación previos, siendo neutralizado por la presencia de compuestos como el anhídrido sulfuroso (Guillou, 2012). El consumo de oxígeno del vino está fuertemente relacionado con la pérdida de SO_2 , debido a la disminución progresiva de éste durante el manejo y almacenamiento del vino en presencia de oxígeno (Singleton 1987).

El sulfuroso libre en el vino se encuentra mayoritariamente en forma de sulfito de hidrogeno o ion bisulfito (HSO_3^-) y en menor medida como sulfito (SO_3^-), este último no es eficiente en la protección contra la oxidación, sino que reacciona con los productos de la oxidación (Du Toit *et al.*, 2006; Danilewicz *et al.*, 2008 citado en Guillou 2012).

Cabe mencionar que, en algunas situaciones, es común que el SO_2 se use en conjunto con el ácido ascórbico, ya que, de esta manera, se obtendría una mayor efectividad en el control de las oxidaciones (Bradshaw *et al.*, 2011 citado en Guillou 2012). En el caso de que el ácido ascórbico no se acompañe de suficiente SO_2 , la autooxidación de esta sustancia produciría un aumento del potencial de oxidación.

Por otra parte, el SO_2 reacciona rápidamente con quinonas y relativamente rápido con peróxido de oxígeno, por lo que se puede argumentar que, por una cantidad dada de oxígeno consumido, la capacidad de un vino para formar estos compuestos puede modular la pérdida de SO_2 (Singleton 1987).

2.6. Oxidación en vino

El oxígeno es un elemento fundamental en el proceso de vinificación y conservación del vino. Las oxidaciones moderadas de tipo constitutivas o inducidas (Ej. cv. Cabernet Sauvignon) pueden impartir beneficios en los vinos tintos como la estabilización del color, y la reducción de la

astringencia y el amargor (Atanasova *et al.*, 2002). Por otro lado, en vinos blancos (Ej. cv. Sauvignon blanc), no es habitual favorecer las reacciones de oxidación ya que estas producirían cambios de color, pérdida de los aromas varietales y además la aparición de etanal (Paladino, 2010; Carrascón *et al.*, 2017).

Tal como ya se indicó anteriormente, el pardeamiento mencionado es causado por la oxidación de fenoles a quinonas, las que tienen una alta reactividad y pueden provocar alteraciones sensoriales del producto (Day, 2012), incluyendo cambios aromáticos y de color.

Se sabe con certeza que las reacciones relevantes que llevan al desarrollo de oxidación en vinos dependen de variados componentes presentes en el mosto de uva y en el vino, entre ellos lo más importantes son: iones metálicos, anhídrido sulfuroso (SO₂), concentración y composición de los compuestos fenólicos, siendo estos últimos los más susceptibles a la oxidación (Oliveira *et al.*, 2011 citado en Guillou 2012).

2.7. Consumo de oxígeno en vino

Cuando el vino ha sido saturado de oxígeno disuelto, éste se consume por su reacción con otros constituyentes, y en la medida en que estos se transforman (ej. polimerización y precipitación), el potencial de las reacciones de oxido reducción va decreciendo. Se puede repetir esta operación varias veces dependiendo fundamentalmente del contenido de fenoles del vino. Cuando esto sucede, al principio podría ocurrir una mejora en la calidad organoléptica, pero después de varias saturaciones, la situación cambia y se produce una degradación del producto (Ej. pardeamiento, aparición de aromas oxidados, precipitaciones) (Flanzy, 2000).

El oxígeno que se encuentra presente en los vinos es un constituyente que no perdura en el tiempo. Esto se debe a la propiedad del vino de consumir cantidades determinadas de oxígeno dependiendo de las composición química propias de cada vino y se da particularmente por la proporción de sustancias que la componen (Ej. Fenoles, anhídrido sulfuroso, presencia de lías, etc.) (Maza, 2004).

Debido a que la capacidad de interacción con el oxígeno de distintos vinos depende en gran medida de su composición (Ferreira, *et al.*, 2015), Singleton, 1987 afirmó que: “el vino tinto puede consumir generalmente 30 saturaciones de aire y el vino blanco puede consumir 10 saturaciones de aire, o aproximadamente 65 mg/L de oxígeno, antes de que el vino tome un carácter oxidado”. Sin embargo, este tipo de trabajo fue realizado con instrumental menos sensible al que podemos

utilizar hoy en día, cuestión que sugiere la necesidad de actualizar este tipo de mediciones, fundamentalmente por la importancia que este tipo de reacciones generan en los vinos. Tal como ya se mencionó, las consecuencias del consumo de oxígeno se relacionan con modificaciones sensoriales (Waterhouse *et al.*, 2016).

2.8. Oxígeno disuelto en vino

Habitualmente, las concentraciones de oxígeno disuelto (OD) se expresan en partes por millón (ppm = mg/L), y otra que se realiza en tres órdenes de magnitud más bajos, en partes por billón (ppb = µg/L) (del Álamo y Nevares, 2012). En los trabajos realizados por Vidal *et al.*, 2001, Castellari *et al.*, 2004 y Carrasco, 2014 sugieren que los aportes de oxígeno al vino dependen de las operaciones concretas a la que se somete, llegando incluso a la incorporación de oxígeno en concentraciones muy elevadas alcanzando valores cercanos a la saturación con oxígeno (6 mg/L) del vino. En el cuadro 1 se presenta un resumen de los diferentes valores medidos de oxígeno disuelto producidos por el aporte de oxígeno en las distintas etapas y procesos de vinificación.

Cuadro 1. Operaciones de vinificación vs. Oxígeno disuelto (mg/L) (**Fuente:** Vidal *et al.*, 2001; Castellari *et al.*; 2004; Carrasco, 2014).

Operaciones de vinificación	Oxígeno disuelto (mg/L)
Bombeo	0,1 a 0,2
Filtrado	0,7
Centrifugado	1
Embotellado	1,6
Trasiego	2,2 a saturación
Molienda -Prensado	Saturación

Por otro lado, recientemente se dice que medir el oxígeno disuelto en las botellas de vino durante el almacenamiento no refleja fielmente la pérdida de SO₂ con el tiempo por lo que el oxígeno disuelto sería en realidad el oxígeno residual no consumido por el vino y, en consecuencia, su medición no representaría correctamente el estrés oxidativo que puede sufrir el vino (Ugliano, 2013).

III. MATERIALES Y MÉTODOS

El experimento constó de tres secciones:

Sección 1: Evaluación descriptiva de la capacidad de consumo de oxígeno disuelto en vinos sometidos a sucesivas saturaciones utilizando un medidor de oxígeno basado en el principio de fotoluminiscencia llamado NomaSense O₂.

Sección 2: Mediciones del contenido fenólico y características cromáticas de los vinos control y aquellos que recibieron múltiples saturaciones con oxígeno del aire. El contenido fenólico y características cromáticas de los vinos fueron analizados mediante la intensidad de absorción de luz a 280 nm, 420, 520 y 620 nm, utilizando un espectrofotómetro UV/VIS, y los resultados fueron analizados estadísticamente utilizando el programa Stargraphics Centurion XVI, utilizando análisis de varianza simple, ANOVA, y test HSD de Tukey ($p \leq 0,05$) para cada factor.

Sección 3: Medición de contenido de anhídrido sulfuroso libre y total al principio y al final del experimento, utilizando mini titulador diseñado especialmente para la determinación de dióxido de azufre en solución.

3.1. Evaluación del consumo de oxígeno disuelto en vino blanco (Sauvignon blanc) y vino tinto (Cabernet Sauvignon).

La evaluación de la capacidad de consumo de oxígeno en vino se realizó a partir de 21 ciclos sucesivos de aireación y consumo para vino tinto y 7 ciclos para vino blanco. Los vinos utilizados en este trabajo (cuadro 2) fueron sometidos a mediciones de oxígeno disuelto al principio, durante y después de los 21 y 7 ciclos respectivamente.

Cuadro 2. Características principales de los vinos empleados en el ensayo.

Vino (cepa)	Viña	Año	IPT inicial	SO ₂ L inicial	SO ₂ T inicial
Sauvignon Blanc	Santa Carolina	2017	6,79	44,6	62,3
Cabernet Sauvignon	Santa Carolina	2017	66,3	26,2	46,4

La saturación con oxígeno para cada botella se realizó agitando el vino en un vaso precipitado con capacidad de 1 L, agregando una barra de agitación de 6 x 15mm, durante 30 minutos sobre un agitador magnético (Equilab). Luego se vertía el vino saturado en las botellas con capacidad de 600 mL asegurándose que quedaran totalmente llenas, las que posteriormente fueron cerradas con sus respectivas tapas de tipo rosca. De esta forma, se obtuvieron seis botellas para vino blanco y seis para tinto (para cada tipo de vino, tres botellas correspondieron al control y tres al tratamiento de aireación).



Figura1. Aireación y saturación de los vinos con agitador magnético

Cada una de las botellas contenía un sensor de oxígeno (Oxy-Pst3-1208-02, NomaSense) situado en la parte media inferior de la botella, aproximadamente a los 7 cm desde la base de la botella. Los sensores fueron adheridos según las indicaciones del fabricante mediante el uso de silicona alimentaria la que no interfiere ni influye en la composición del vino ni en los resultados medidos. Además, cada sensor cuenta con una calibración requerida por el instrumento la que fue verificada al inicio de cada ensayo realizado.

Cabe mencionar que para cada vino se contaba con 3 repeticiones de tratamiento y 3 repeticiones de control. El control fue saturado solo una vez, y luego de ser embotellado no se abrió hasta el fin del experimento.

3.2. Determinaciones analíticas

3.2.1 Medición de oxígeno disuelto por NomaSense O₂.

Para el monitoreo de los niveles de oxígeno disuelto en el vino se utilizó un analizador de oxígeno NomaSense O₂ de Nomacorc S.A., instrumento basado en la tecnología de fotoluminiscencia que mide la concentración del oxígeno disuelto, de forma no destructiva ni invasiva para el vino. Cada botella contenía un sensor los cuales entregaban la concentración de oxígeno disuelto (OD) en el vino en ppm (ppb) de oxígeno, todas las botellas fueron monitoreadas con este instrumento durante los ciclos de saturación de los vinos, todos los días una vez durante 147 días en vino tinto y 53 días en vino blanco, a temperatura ambiente (20°C aproximadamente).

Cabe mencionar que antes de medir el oxígeno de cada lote se calibró el monitor NomaSense O₂ según las instrucciones mencionadas por el fabricante en el manual.



Figura 2. Medición de oxígeno disuelto con analizador NomaSense.

3.2.2 Evaluación de absorbancia a 280, 420, 520 y 620 nm.

Para la determinación indirecta del contenido de fenoles en los vinos se realizaron mediciones de la absorbancia utilizando un espectrofotómetro Spectroquant® modelo *Pharo 300* de MERCK. Con el fin de obtener estimaciones de su contenido total de fenoles se realizaron lecturas a una longitud de onda de 280 nm ya que los fenoles poseen este máximo de absorción de luz (Guzmán

2010). Para el vino blanco se realizó una lectura directa de absorbancia de las muestras al inicio y al final del ensayo (Inicio T0, tiempo final T53) y también se realizaron lecturas a 420 nm al principio y al final del ensayo con el fin de obtener alguna indicación del grado de pardeamiento de los vinos. Para el vino tinto se realizó una dilución de 1:10 y las lecturas se realizaron tanto al inicio y al final del ensayo (Inicio T0 y tiempo final T147). Además, se realizaron lecturas a 420, 520 y 620 nm para describir la evolución del color en función del consumo de oxígeno disuelto de los vinos. Para el análisis de todas las muestras se utilizaron cubetas de cuarzo de 1 mm marca VWR®.

3.3.3 Determinación de la concentración de SO₂ libre y SO₂ total.

Para el análisis de contenido de SO₂ libre y SO₂ total de las muestras de vino blanco y tinto se utilizó un mini titulador HI 84500 de marca HANNA®, diseñado especialmente para la determinación de dióxido de azufre en solución. El equipo determina el SO₂ libre y SO₂ total con el "Método de Ripper", a través del titulante y reactivos incluidos en el equipo, generando yodo en la celda de medición, para valorar mediante una reacción de tipo Redox. Entregando el resultado en ppm de SO₂ libre o SO₂ total. Las mediciones se realizaron al inicio del experimento, en la mitad del experimento y al final del experimento, es decir luego de los siete ciclos de saturación en vino blanco y veintiuno en tinto.

Para cada medición del SO₂ libre y total se utilizó 1 vaso precipitado, 50 ml de vino, 5 ml de reactivo alcalino (HI84100-51) 5 ml de reactivo ácido (HI84100-52 y H183100-53), un sobre de estabilizador en polvo (HI84100-54) y un agitador magnético.

Cabe mencionar que el rango de medición del equipo es de 1.00 a 30.0 ppm en titulación de rango bajo y de 30.0 a 400 ppm en titulación de rango alto, para SO₂ libre y SO₂ total, por lo cual previo a cada medición se calibro el equipo según lo indicado en el manual del fabricante.

3.3.4 Análisis descriptivo y estadístico.

Los datos obtenidos de las diversas mediciones fueron analizados descriptivamente en la sección 1 y 3 y estadísticamente en la sección 2 usando el programa Statgraphics Centurion XVI, utilizando análisis ANOVA simple y test HSD de Tukey ($p \leq 0,05$) para cada factor, para así poder observar y comparar determinar las diferencias entre los tratamientos.

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Evaluación del consumo de oxígeno disuelto (OD) en vinos con analizador de oxígeno NomaSense O₂.

El diseño del experimento para lograr evaluar el consumo de oxígeno disuelto en el tiempo, tanto en cv. Sauvignon blanc como cv. Cabernet Sauvignon se basó en la medición de la concentración de OD expresada en ppm (ppb) a temperatura ambiente (20°C aproximadamente), mediante el uso del analizador de oxígeno NomaSense O₂.

La aireación de los vinos se llevó a cabo siguiendo un proceso basado en ciclos consecutivos de saturación con aire el cual contiene aproximadamente un 21% de oxígeno (Calderón, 2014) y con un monitoreo diario de oxígeno disuelto con sensores ubicados dentro de las 12 botellas con tapa rosca llenas en su máxima capacidad con las muestras de vino.

La solubilidad máxima del oxígeno en el vino depende principalmente de la temperatura y la composición del gas al que está expuesto el vino (Catellari *et al.*, 1998). Los valores máximos de OD en vinos saturados son de 8,6 mg/L (6,0 ml/L) a temperatura ambiente y atmosférica (Singleton, 1987), lo cual se reafirma en el experimento realizado, ya que como se observa en la Figura 3 y 5, ninguna de las saturaciones realizada con aire sobrepasa los valores máximos indicados en estudios anteriores.

4.1.1 Consumo de OD en vino blanco (cv. Sauvignon blanc).

En el caso del vino Sauvignon blanc, (Figura 3), se observa un comportamiento de consumo de oxígeno similar durante las primeras cuatro saturaciones, con duraciones variables entre 120 a 144 horas. Por su parte, luego de la quinta saturación en adelante, la capacidad de consumo de oxígeno se ralentiza (192 a 240 horas). Lo anterior se debería a la susceptibilidad a la oxidación que presenta cada vino, el cual dependería de la concentración de anhídrido sulfuroso y el contenido y composición de fenoles (Oliveira *et al.*, 2011), sustancias que al oxidarse y transformarse (ej. por polimerización) reducirían su reactividad con oxígeno y la capacidad de consumo de este gas.

En cuanto al consumo de OD en las botellas del tratamiento control, las cuales fueron saturadas solo al inicio del ensayo y posteriormente cerradas hasta el final del experimento (séptima saturación), se observa un consumo de oxígeno significativamente menor a la de las muestras sometidas a aireaciones sucesivas. Luego de la primera saturación y su posterior sellado, se alcanzaron valores cercanos a 3 mg/L de OD entre los días 20 y 23, los que pudieron deberse a factores ambientales como la temperatura que pudo influir sobre el ingreso de oxígeno a dichas botellas. En este sentido, Singleton (1987) indicó que la concentración de oxígeno puede aumentar aproximadamente un 10% a temperaturas de 5 °C más bajas.

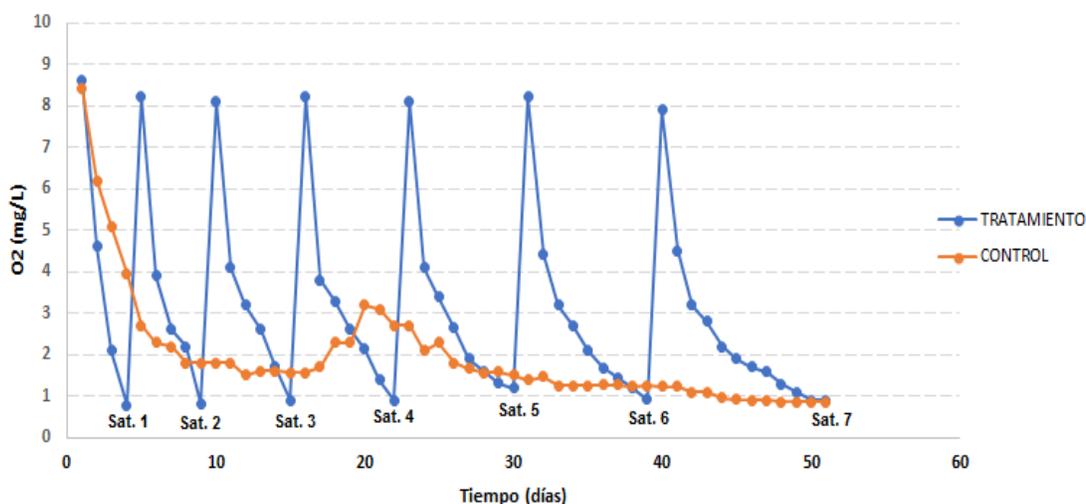


Figura 3. Consumo de oxígeno disuelto expresado en mg/L de botellas de tratamiento y control en Sauvignon Blanc frente al tiempo en días.

El vino blanco fue capaz de consumir siete saturaciones de oxígeno en 53 días de medición, luego de lo cual mostró evidentes características propias de la oxidación, presentando pardeamiento y deterioro aromático. Este pardeamiento debería ser provocado por la oxidación de fenoles a quinonas (Day, 2012). En estudios anteriores se dijo que el vino blanco podía consumir hasta diez saturaciones antes de presentar condiciones atribuidas a oxidación (Singleton 1987). En el caso de este estudio, estas características se observaron al comienzo de la saturación número siete, que se pueden observar en las botellas de tratamiento (lado izquierdo) en la figura 4. Cabe mencionar que no se continuó con este estudio hasta agotar todos los compuestos fenólicos, debido a la falta de tiempo del estudiante.



Figura 4. Tratamiento vs control al final del ensayo de Sauvignon blanc.

4.1.2 Consumo de OD en vino tinto (cv. Cabernet Sauvignon).

En cuanto a la evaluación del consumo de oxígeno disuelto en vino tinto cv. Cabernet Sauvignon frente al tiempo (Figura 5) se observa que las primeras dos saturaciones consumieron oxígeno en menos de 48 horas, mientras que en las siguientes 12 saturaciones la capacidad de consumo de oxígeno se mantuvo con duraciones variables entre 96 y 120 horas. Por su parte, luego de la quinceava saturación se observa que la capacidad de consumo de oxígeno del tratamiento se ralentiza (140 a 192 horas) volviéndose aún más lento en la última saturación (cercano a 240 horas). Debido al largo tiempo de las ultimas saturaciones y al observar que cada vez el vino se demoraba más tiempo en consumir el oxígeno disuelto presente en él, se decidió no seguir con el estudio, por lo cual no se pudo comprobar la aseveración hecha por Singleton (1987) quien sugiere que los vinos son capaces de consumir hasta 30 saturaciones antes de agotar todos sus compuestos fenólicos por oxidación.

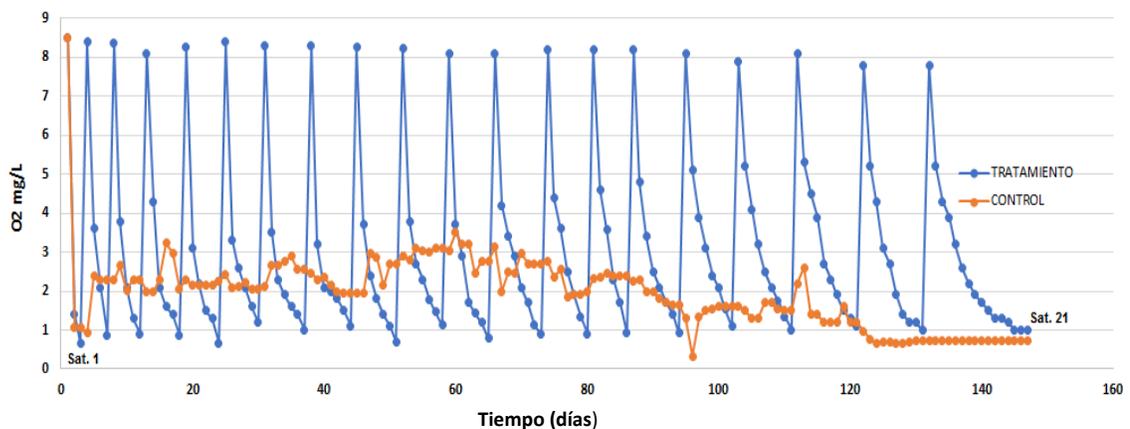


Figura 5. Consumo de oxígeno disuelto expresado en mg/L de botellas de tratamiento y control en Cabernet Sauvignon frente al tiempo en días.

Por otra parte, en el consumo de OD de las 3 botellas del tratamiento control, las cuales fueron saturadas una vez y posteriormente cerradas, se observaron fluctuaciones entre 1 y 3 mg/L de OD hasta la saturación número 18. Luego, en las últimas tres saturaciones los valores de OD empezaron a bajar manteniéndose en las últimas dos saturaciones con valores bajos a 1 mg/L lo que puede atribuirse que con el paso del tiempo (120 días aproximadamente) el ingreso de oxígeno por el tapón, y el oxígeno disuelto dentro de la botella se habría estabilizado.

El vino tinto fue capaz de consumir veintiún saturaciones de oxígeno en 147 días luego de lo cual mostró un evidente deterioro aromático, pero no así cambios aparentes del color (Figura 6). Estos cambios en el aroma podrían deberse a las sucesivas exposiciones al aire proporcionada por cada una de las saturaciones, la elevada exposición al oxígeno hace aumentar el riesgo de deterioro oxidativo y como consecuencia, se pueden observar modificaciones importantes en la composición y características organolépticas del vino inicial (Ej.: aromas), siendo el deterioro aromático una característica propia de la oxidación (Salazar, 2015; Carrascon *et al.*, 2017).



Figura 6. Tratamiento vs control al final del ensayo de Cabernet Sauvignon.

En cuanto a no observarse cambios aparentes de color entre el tratamiento y control, podría deberse a la alta concentración de compuestos fenólicos aún presentes en el vino tinto, de la cual depende también su gran capacidad antioxidante (Usseglio-Tomasset, 1998; citado en Concha, 2010).

4.1.3 Comparación de consumo OD entre Sauvignon blanc y Cabernet Sauvignon.

Al comparar el consumo de oxígeno disuelto entre ambos tipos de vinos, observados en las Figuras 3 y 5, queda en evidencia que en general los vinos tintos tendrían una mayor capacidad de consumo de oxígeno que los vinos blancos. Este hecho se explica fundamentalmente debido a la mayor cantidad de constituyentes fenólicos del vino, capaces de interactuar con oxígeno en el caso de los vinos tintos. El vino tinto tiene hasta 10 veces más compuestos fenólicos que el vino blanco (Singleton, 1987), situación que explicaría su capacidad de consumir generalmente 30 saturaciones de aire antes de que el vino tome un carácter oxidado (Singleton, 1987), el triple de saturaciones que puede consumir un vino blanco. Esto confirma nuevamente la mayor resistencia de los vinos tintos frente a la acción oxidativa del oxígeno.

Las diferencias de consumo de oxígeno entre los promedios de las tres repeticiones para tratamiento y control tanto en vino blanco cv. Sauvignon blanc (Figura 3), como en vino tinto cv. Cabernet Sauvignon (Figura 5), podrían deberse a su concentración de compuestos fenólicos, los cuales se ven reflejados en sus mediciones de absorbancia a 280 nm encontradas en la Figura 7. Cabe mencionar que en este ensayo los vinos empleados presentaron un índice de polifenoles totales, IPT inicial de 6,79 en Sauvignon blanc y 66,3 en Cabernet Sauvignon.

La importancia del contenido fenólico en el consumo de oxígeno fue corroborada por un ensayo realizado por Pincheira (2014) quien mediante pruebas con soluciones modelo demostró que las soluciones modelos con alta concentración fenólica consumían el oxígeno en una menor cantidad de tiempo a diferencia de una solución modelo de baja concentración fenólica.

Por último, en ambos vinos (Figura 3 y 5) se observa que las tasas de consumo de oxígeno al comienzo de los ciclos de saturación fueron los más altos. Una rápida captación inicial de oxígeno se atribuye a la oxidación de fenoles, mediada por la presencia de oxígeno y metales de transición (Singleton, 1987). Estudios posteriores corroboraron lo anterior proponiendo que el primer paso del mecanismo de oxidación es la activación del oxígeno disuelto por la acción catalítica de los iones metálicos, principalmente Fe (II), pero en la cual el Cu (II) ejercería un efecto potenciador. Durante este proceso, se forman especies altamente reactivas como las quinonas y el peróxido de hidrógeno, y el SO₂ es un componente clave que reacciona a ambos intermedios (Danilewicz, 2003; Waterhouse y Laurie, 2006; Carrascon *et al.*, 2017).

4.2. Evaluación del contenido de fenoles determinando absorbancia a 280, 420, 520 y 620 nm.

Como una forma de explicar las diferencias en la capacidad de consumo de oxígeno entre vino tinto (Cabernet Sauvignon) y blanco (Sauvignon blanc) se realizaron mediciones de absorbancia a una longitud de onda de 280 nm con el fin de obtener sus índices de polifenoles totales (IPT), a partir del método propuesto por Paronetto (1979). Las lecturas de absorbancia en el espectrofotómetro se analizaron por triplicado; es decir se tomaron tres muestras por cada botella de las 6 de Sauvignon blanc y 6 de Cabernet Sauvignon en el momento inicial del ensayo y al termino de los siete ciclos en el caso del vino blanco y veintiuno en el caso del vino tinto.

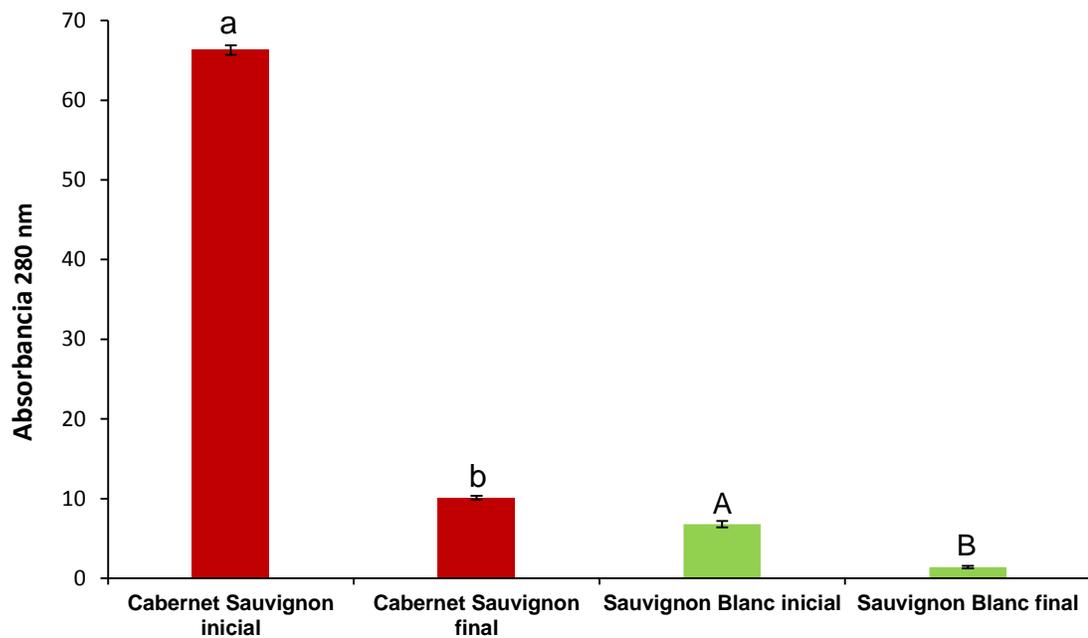


Figura 7. Absorbancias a longitud de onda de 280 nm para muestras de vino tinto Cabernet Sauvignon y vino blanco Sauvignon blanc al momento inicial del ensayo y final del ensayo Las letras minúsculas representan diferencias estadísticamente significativas entre Cabernet Sauvignon inicial y final. Letras mayúsculas representan diferencias estadísticamente significativas entre Sauvignon blanc inicial y final.

En la figura 7 se muestran los resultados de índice de polifenoles totales (IPT) para los vinos utilizados en el ensayo con los resultados al inicio y al término del ensayo mostrando una comparación entre vino tinto (cv. Cabernet Sauvignon) y vino blanco (cv. Sauvignon blanc) donde queda demostrada la gran diferencia de concentración compuestos fenólicos entre los vinos mencionados expresada en IPT y que se relaciona directamente con el consumo de oxígeno de los respectivos cultivares. En Cabernet Sauvignon, el promedio de la absorbancia inicial de las muestras arrojó un valor de 66,3 mientras que al final del ensayo, el resultado fue 10,1. Por otro

lado en vino blanco cv Sauvignon blanc el promedio de la absorbancia inicial de las muestras arrojo un valor de 6,79 el cual en la saturación numero 7 disminuyo a 1,4. Por lo cual quedaría demostrada la directa relación entre el consumo de oxígeno y el contenido de polifenoles, en ambos vinos.

En el caso de los vinos blancos, las reacciones que ocurren después de su fermentación involucran principalmente un pardeamiento no enzimático y oxidativo (Ribéreau-Gayon, Glories, Maujean, y Dubourdier, 2000). La aparición de colores dorados y marrones son el resultado de una serie de reacciones complejas que dan lugar a este cambio de coloración (Singleton y Kramling, 1976).

Debido a la susceptibilidad mayor de los vinos blancos a la oxidación y los cambios de coloración marrón es que se realizaron lecturas de absorbancia a 420 nm. Las mediciones fueron realizadas al inicio (T0) y al final del ensayo (T53) en el tratamiento y control como se muestra en la figura 8.

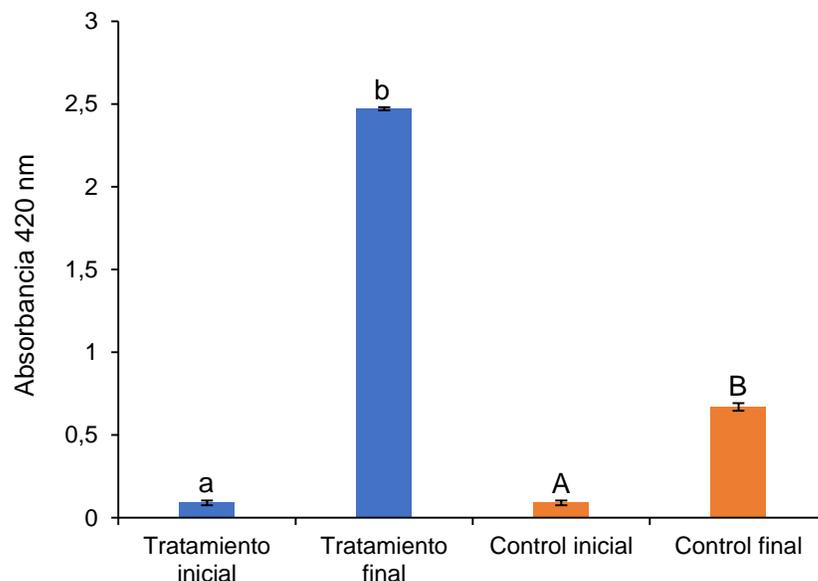


Figura 8. Absorbancias a longitud de onda de 420 nm para muestras vino blanco Sauvignon blanc al momento inicial del ensayo y final del ensayo Las letras minúsculas representan diferencias estadísticamente significativas entre tratamiento inicial y final. Letras mayúsculas representan diferencias estadísticamente significativas entre control inicial y control final.

La medida inicial (T0) de absorbancia de los vinos a 420 nm fue de 0,09. Se obtuvieron resultados estadísticamente diferentes al final del ensayo, al realizar el análisis de ambos casos al final del experimento, el tratamiento (T53) arrojo un valor de 2,47 mientras que el control (T53) arrojo un resultado de 0,67, situación que evidencia una mayor cantidad de color amarillo-pardo

en el tratamiento donde fueron realizadas 7 saturaciones de oxígeno representadas en la figura 3. Esto es corroborado por un estudio realizado por Kallithraka *et.al*, 2009 donde se comparó el contenido de compuestos fenólicos en vino blanco mediante una prueba de pardeamiento acelerado con oxígeno frente a con la concentración fenólica durante el almacenamiento en botella, donde los resultados de absorbancia a 420 nm demuestran un mayor pardeamiento en el vino expuesto a oxígeno, y pardeamiento casi nulo en el vino que no tuvo contacto forzado con oxígeno.

Por otro lado, en las muestras de vino tinto Cabernet Sauvignon se realizaron mediciones de absorbancia a 420, 520 y 620 nm con el fin de describir la evolución del color en función del consumo de oxígeno disuelto en cabernet Sauvignon (Figuras 9 - 11).

Los vinos tintos tienen un máximo de absorción a 520 nm (Figura 10) donde se encuentra el color rojo intenso, debido a los antocianos, entre este máximo y otro que se sitúa en la zona del U.V. a 280 nm hay un mínimo (Figura 7), alrededor del 420, zona del color amarillo (Figura 9). A medida que el vino envejece van disminuyendo las diferencias entre ambos valores, porque va desapareciendo el color rojo y apareciendo los tonos amarillentos.

La suma de las lecturas a 420 +520 +620 da como resultado la intensidad colorante de un vino (Hernández,2012). Donde al final del ensayo la intensidad de color (IC) fue levemente mayor en el control que en el tratamiento.

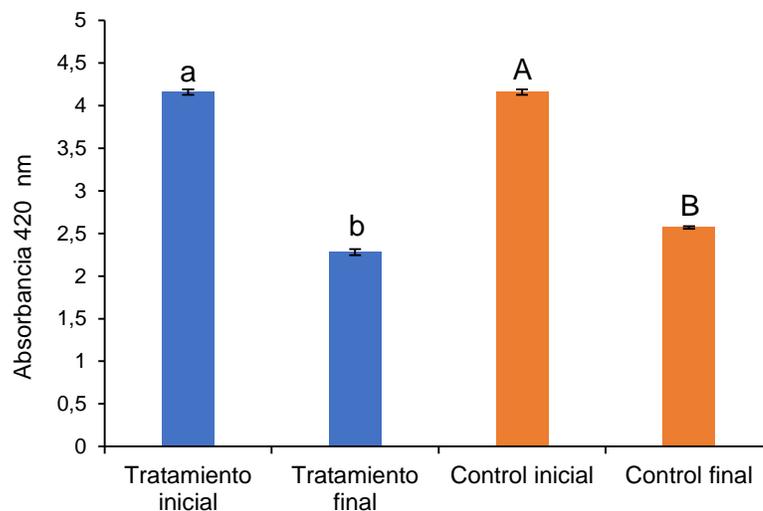


Figura 9. Absorbancias a longitud de onda de 420 nm para muestras vino tinto Cabernet Sauvignon al momento inicial y final del ensayo Las letras minúsculas representan diferencias

estadísticamente significativas entre tratamiento inicial y final. Letras mayúsculas representan diferencias estadísticamente significativas entre control inicial y control final.

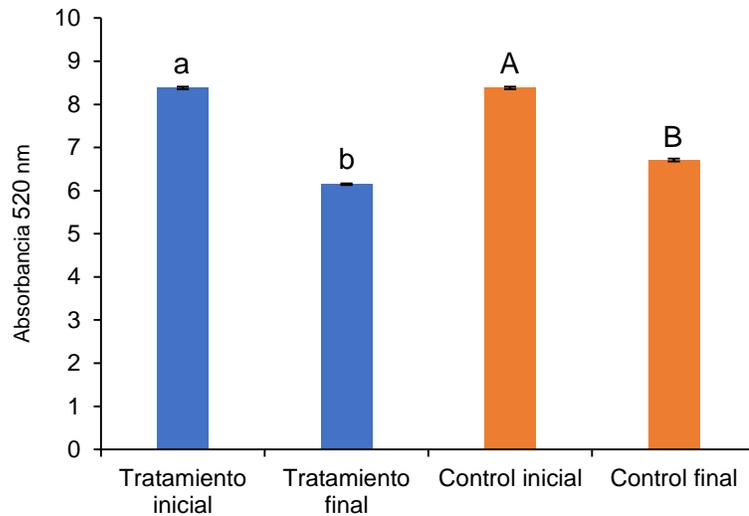


Figura 10. Absorbancias a longitud de onda de 520 nm para muestras vino tinto Cabernet Sauvignon al momento inicial y final del ensayo Las letras minúsculas representan diferencias estadísticamente significativas entre tratamiento inicial y final. Letras mayúsculas representan diferencias estadísticamente significativas entre control inicial y control final.

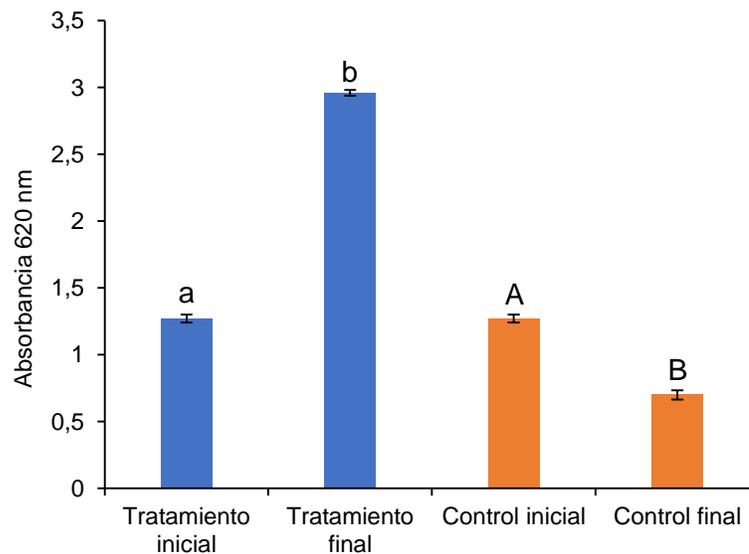


Figura 11. Absorbancias a longitud de onda de 620 nm para muestras vino tinto Cabernet Sauvignon al momento inicial y final del ensayo Las letras minúsculas representan diferencias

estadísticamente significativas entre tratamiento inicial y final. Letras mayúsculas representan diferencias estadísticamente significativas entre control inicial y control final.

4.3. Comparación de la concentración de SO₂ libre y SO₂ total en vinos cv Sauvignon blanc y cv. Cabernet Sauvignon.

En producción de vino resulta de gran importancia determinar frecuéntemene la concentración de SO₂ para saber el grado de protección del vino contra el crecimiento microbiológico y el progreso de las oxidaciones.

4.3.1 Concentración de SO₂ en vino Sauvignon blanc.

Las concentraciones iniciales de SO₂ libre (saturación 1) para tratamiento y control en Sauvignon Blanc fueron de 44,6 ppm, luego al medir el día 25 (saturación 4) hubo variaciones entre el tratamiento y control como se observa en el cuadro 2, la concentración de SO₂ libre en las botellas tratamiento es menos de la mitad que en las botellas de control, al igual que las mediciones al final del ensayo (saturación 7) donde se observa que el tratamiento contiene un promedio de 2,1 ppm de SO₂ libre vs el control con 9,5 ppm (cuadro 3). Lo anterior se debe a las sucesivas exposiciones de aire a las que fueron expuestas las botellas de tratamiento. El consumo de oxígeno por el vino es fuertemente correlacionado con la pérdida de SO₂ libre debido a su capacidad para reaccionar con quinonas y peróxido de hidrogeno, así como se afirma que la modificación provocada por el oxígeno en los componentes del vino (Ej.: compuestos fenólicos), probablemente están vinculadas con la capacidad real del SO₂ para ejercer su capacidad antioxidante (Carrascon *et al*, 2017).

Cuadro 3. Promedios de concentración de SO₂ libre medidos en ppm en Sauvignon blanc.

	Tratamiento	Control
SO ₂ libre inicial (T0)	44,6	44,6
SO ₂ libre (T25)	7,4	19,3
SO ₂ libre final (T53)	2,1	9,5

En cuanto a la pérdida de SO₂ total durante el ensayo también fue mayor en las botellas de tratamiento que en las de control, ambos empezaron con una concentración inicial (T0) de 62,3 ppm la cual disminuyo en el día 25, a 44 ppm en el tratamiento y 53,6 ppm en el control, al final

del ensayo se observaron concentraciones de 29 ppm de SO₂ total en las botellas de tratamiento y 38 ppm en las botellas de control, esta diferencia podría deberse a la exposición al aire y movimiento del vino en cada saturación, donde el SO₂ total en el tratamiento pudo perderse por volatilización.

Por ende, los vinos blancos no deben ser expuestos a excesivas cantidades de oxígeno ya que como dicho anteriormente son saturados en poco tiempo, debido a una serie de razones, tales como las concentraciones inferiores de fenoles presentes y la mayor sensibilidad al oxígeno del aroma varietal de la mayoría de los vinos blancos. Es por eso por lo que la resistencia de estos vinos a la oxidación (Ej. Contenido de fenoles) y el uso de antioxidantes (Ej. Anhídrido sulfuroso) siguen siendo un problema de gran importancia en la conservación de las características organolépticas y sensoriales de los vinos blancos (Carrascón *et al.*, 2017).

4.3.2 Concentración de SO₂ en vino tinto Cabernet Sauvignon.

En cuanto a la concentración de SO₂ libre en Cabernet Sauvignon como se observa en el cuadro 4 las concentraciones fueron iguales en el tratamiento y control al inicio (T0) con un valor de 26,2 ppm, luego en el día 73 (saturación 12) se observa una disminución a 10,7 ppm en las botellas de tratamiento y 17,3 ppm en las botellas de control la que posteriormente siguió disminuyendo llegando al final del ensayo con concentraciones muy bajas, en tratamiento se midió una concentración de 1,6 ppm mientras que en el control 5,1 ppm. Ambas concentraciones al final del ensayo son muy bajas, lo cual podría ser debido al largo tiempo en que se tuvieron las muestras (147 días). Carrascon *et al.*, (2017) afirmo que; cuando el oxígeno se disuelve en el vino, una cascada de reacciones oxidativas catalizadas por metales, como el cobre y el hierro, oxida los compuestos fenólicos. Durante este proceso, se forman especies altamente reactivas como las quinonas y el peróxido de hidrógeno, y el SO₂ es un componente clave que reacciona con ambos intermedios (Carrascon *et al.*, 2017).

Cuadro 4. Promedios de concentración de SO₂ libre medidos en ppm en Cabernet Sauvignon.

	Tratamiento	Control
So ₂ libre inicial (T0)	26,2	26,2
So ₂ libre (T73)	10,7	17,3
So ₂ libre final (T147)	1,6	5,1

Por otro lado, la concentración de SO₂ total del tratamiento y control durante el ensayo en Cabernet Sauvignon disminuyó, ambos con una concentración inicial de 46,4 ppm luego en el día 73 (saturación 12) el tratamiento tenía una concentración de 34,4 ppm y el control de 41,9 ppm. Esta concentración siguió disminuyendo hasta el final del ensayo donde el tratamiento tuvo una concentración de 28,4 ppm y el control 36 ppm. Esta diferencia se atribuye a que el control solo fue saturado con aire una vez y luego cerrado hasta el final del ensayo, aún así hubo pérdida de SO₂ total, lo que podría deberse al largo tiempo transcurrido durante el ensayo en el cual hubo una serie de reacciones químicas dentro del vino (Ej.; compuestos fenólicos, quinonas y peróxido de oxígeno). Estas transformaciones químicas que son inducidas por el consumo de oxígeno en vino conllevan a la pérdida progresiva de SO₂ total que tiene lugar durante el manejo y almacenamiento del vino en presencia de oxígeno (Bragkovich *et al.*, 2005; Carrascon, 2017).

4.3.3 Concentración de SO₂ libre en vino blanco Sauvignon blanc vs. Vino tinto Cabernet Sauvignon.

Debido a que dentro del SO₂ libre se encuentra el SO₂ molecular reconocido como el SO₂ activo el cual tiene efecto directo como antioxidante en el vino, se compararon las concentraciones de SO₂ libre iniciales y finales en Sauvignon blanc y Cabernet Sauvignon con el fin de saber su relación con el consumo de oxígeno disuelto, como se observa en la Figura 12 ambos vinos sufrieron pérdidas notables de SO₂.

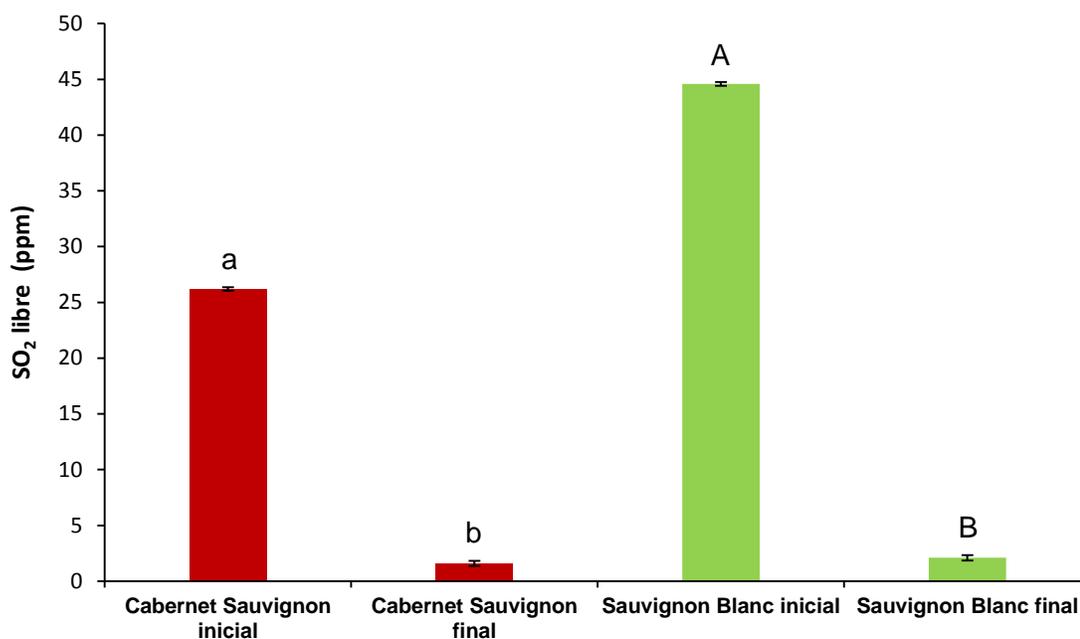


Figura 12. Promedios de concentraciones de SO₂ libre para muestras de vino tinto Cabernet Sauvignon y vino blanco Sauvignon blanc al momento inicial del ensayo y final del ensayo. Las letras minúsculas representan diferencias estadísticamente significativas entre Cabernet Sauvignon inicial y final. Letras mayúsculas representan diferencias estadísticamente significativas entre Sauvignon blanc inicial y final.

En cuanto a los cambios de concentración de SO₂ libre durante el ensayo, el vino blanco Sauvignon blanc perdió 42,5 ppm en 53 días (7 saturaciones) versus el vino tinto Cabernet Sauvignon el cual perdió 24,4 ppm en 147 días (21 saturaciones), si se compara el número de saturaciones de aire a las que fueron sometidos cada vino, la pérdida de SO₂ libre fue mayor en vino blanco Sauvignon Blanc. Lo anterior podría deberse a la baja concentración de compuestos fenólicos que presenta este tipo de vino, demostrado en secciones anteriores.

V. CONCLUSIONES

De acuerdo con las condiciones experimentales del presente estudio es posible concluir que:

El consumo de oxígeno en vino blanco (cv. Sauvignon blanc) y vino tinto (Cabernet Sauvignon) tiene directa relación con su contenido de compuestos fenólicos debido que a medida que pasa el tiempo, y el oxígeno disuelto en los vinos se va consumiendo y los compuestos fenólicos se van agotando, lo que es más evidente en el caso de los vinos blancos.

También se puede afirmar que en ambos vinos se observó una pérdida progresiva de SO_2 libre y total lo cual se relaciona con el sucesivo consumo de oxígeno disuelto en ambos vinos.

Según lo anterior, de este trabajo se concluye que los vinos blancos (cv. Sauvignon blanc) poseen una menor capacidad de consumo de oxígeno disuelto que los vinos tintos (cv. Cabernet Sauvignon).

VI. CITAS BIBLIOGRÁFICAS

Al Attrach, F. 2015. Exportación del vino chileno. La estrategia de la asociación gremial Vinos Chile A.G. Caso de estudio para optar al grado de Magíster en Estrategia Internacional y Política Comercial. Universidad de Chile, Chile. 97 p.

Brajkovich, M., N. Tibbits, G. Peron, C. Lund, S. Dykes, P. Kilmartin and L. Nicolau. 2005. Effect of screwcap and cork closures on SO₂ levels and aromas in a Sauvignon blanc wine. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 53: 10006-10011.

Calderón, J. F., del Alamo-Sanza, M., Nevares, I. and V.F. Laurie. 2014. The influence of selected winemaking equipment and operations on the concentration of dissolved oxygen in wines. *Ciencia e Investigación Agraria*, 41(2), 273-280.

Carrascón, M., M. Bueno, P.Fernandez-Zurbano, and V.Ferreir.2017. Oxygen and SO₂ Consumption Rates in White and Rosé Wines. *American Journal of Enology and Viticulture*, 32:1-11.

Del Álamo, M. y I. Nevares. 2012. Medida del oxígeno en la bodega. *ACE Revista de Enología*. Disponible en: http://www.acenologia.com/cienciaytecnologia/oxigeno_bodega_uvamox_cienc1012.htm

Ferreira, A., P. de Pinho, P. Rodriguez and T. Hogg. 2002. Kinetics of oxidative degradation of white wines and how they are affected by selected technological parameters. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 50: 5919-5924.

Guillou, N. 2012. Mecanismos y efectos asociados a procesos de oxidación de compuestos fenólicos en vinos. Memoria para optar al título de Ingeniero Agrónomo, Universidad de Chile, Santiago, Chile. 44 p.

Guzmán, M. 2010. Manual de espectrofotometría en enología. 1ra edición. AMV Ediciones. Madrid, España. 162 P.

Hernández, S. 2012. Relación entre la capacidad antioxidante y composición fenólica en vinos tintos del cv. Carménère. Memoria para optar al título de Ingeniero Agrónomo, Universidad de Chile, Santiago, Chile. 73 p.

Laurie, V. F. and A. L Waterhouse, 2006. The oxidation of glycerol in the presence of hydrogen peroxide and iron in model solutions and wine. Potential effects on wine color. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 54: 4668-4673

Laurie, V. F., Del Alamo, M. y I. Nevaes. 2016. La microoxigenación silenciosa en bodegas de vinificación. 10p.

Laurie, V.F y A. Peña-Neira. 2012. Oxígeno y vinos tintos. *ACE Revista de Enología*. Disponible en http://www.acenología.com/cienciaytecnología/oxígeno_tintos_cienc0612.html. Consultado el 20 de mayo de 2018

Luna M., Garau, M., Negre, J., Martorell, A., 2010. Composición fenólica y actividad antioxidante de variedades minoritarias de vid en las islas Baleares. *Instituto de Investigación y Formación Agraria y Pesquera*.

Nagel, C and W. Graber. 1988. Effect of must oxidation on quality of white wines. *American Journal of Enology and Viticulture* 39: 1-4.

Paladino, S., J. Nazrala, H. Vila, J. Genovart, M. Sánchez y M. Maza. 2008. Oxidación de vinos tintos: influencia del pH. *Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Nacional de Cuyo (Argentina)* 2: 105-112.

Singleton, V.L 1987. Oxygen with phenols and related reactions in musts, wines and model systems: observations and practical implications. *American Journal of Enology and Viticulture*, 38: 69-77.

Ugliano, M., Dieval, J.B., and Vidal, S. 2012. Tailoring oxygen management strategies to winemaking styles. *ACE Revista de Enología*. Disponible en: http://www.acenologia.com/cienciaytecnología/gestion_de_oxigeno_cienc0812_eng.htm Consultado el 25 de mayo de 2018

Vidal, J., Boulet, J. y M. Moutounet. 2007. Los aportes del oxígeno en el curso de los tratamientos de los vinos. Balance de las observaciones in situ. Tercera parte. *Revista Enología* 5: 1-21.

Vivas, N and Y. Glories. 1996. Role of oak ellagitannins in the oxidation process of red wines during aging. *American Journal of Enology and Viticulture* 47: 103-107.

Waterhouse, A., Frost, S., Ugliano, M., Cantu, A., Currie, B., Anderson, M., Chassy, A., Vidal, S., Dieval, J., Aagaar, O., and H. Heymann. 2016. Sulfur dioxide–oxygen consumption ratio reveals differences in bottled wine oxidation. *American Journal of Enology and Viticulture* 67:4.

VII. ANEXOS

Cuadro 1. Determinaciones analíticas de absorbancias a 280 y 420 nm en vino blanco cv. Sauvignon Blanc al principio y al final del ensayo.

Muestra	280	420
Tratamiento inicial	6,79	0,09
Tratamiento final	1,4	2,47
Control inicial	6,79	0,09
Control final	2,16	0,67

Cuadro 2. Determinaciones analíticas de absorbancias a 280,420,520 y 620 nm en vino tinto cv. Cabernet Sauvignon al principio y al final del ensayo.

Muestra	280	420	520	620
Tratamiento inicial	66,3	4,16	8,38	1,27
Tratamiento final	10,1	2,28	6,15	2,96
Control inicial	66,3	4,16	8,38	1,27
Control final	38,94	2,57	6,71	0,7

Salidas programa estadístico Statgraphics.

Pruebas de Múltiple Rangos para Absorbancia 280 nm por tiempo (Sauvignon blanc)

Método: 95,0 porcentaje Tukey HSD

tiempo (días)	Casos	Media	Grupos Homogéneos	
Control final	3	2,16	X	
Control inicial	3	6,79		X

Pruebas de Múltiple Rangos para Absorbancia 280 nm por tiempo (Sauvignon blanc)

Método: 95,0 porcentaje Tukey HSD

tiempo (días)	Casos	Media	Grupos Homogéneos	
Tratamiento final	3	1,4	X	
Tratamiento inicial	3	6,79		X

Pruebas de Múltiple Rangos para Absorbancia 420 nm por tiempo (Sauvignon blanc)

Método: 95,0 porcentaje Tukey HSD

tiempo (días)	Casos	Media	Grupos Homogéneos	
Control inicial	3	0,09	X	
Control final	3	0,67		X

Pruebas de Múltiple Rangos para Absorbancia 420 nm por tiempo (Sauvignon blanc)

Método: 95,0 porcentaje Tukey HSD

tiempo (días)	Casos	Media	Grupos Homogéneos	
Tratamiento inicial	3	0,09	X	
Tratamiento final	3	2,47		X

Pruebas de Múltiple Rangos para Absorbancia 280 nm por tiempo (Cabernet Sauvignon)

Método: 95,0 porcentaje Tukey HSD

tiempo (días)	Casos	Media	Grupos Homogéneos	
Control final	3	38,94	X	
Control inicial	3	66,3		X

Pruebas de Múltiple Rangos para Absorbancia 280 nm por tiempo (Cabernet Sauvignon)

Método: 95,0 porcentaje Tukey HSD

tiempo (días)	Casos	Media	Grupos Homogéneos	
Tratamiento final	3	10,1	X	
Tratamiento inicial	3	66,3		X

Pruebas de Múltiple Rangos para SO₂ libre ppm por tiempo (Sauvignon blanc)
 Método: 95,0 porcentaje Tukey HSD

tiempo (días)	Casos	Media	Grupos Homogéneos	
Tratamiento final	3	2,1	X	
Tratamiento inicial	3	44,6		X

Pruebas de Múltiple Rangos para SO₂ libre ppm por tiempo (Cabernet Sauvignon)
 Método: 95,0 porcentaje Tukey HSD

tiempo (días)	Casos	Media	Grupos Homogéneos	
Tratamiento final	3	1,6	X	
Tratamiento inicial	3	26,2		X



Figura 1. Medición de oxígeno disuelto con analizador NomaSense