

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE BAJA CALIFORNIA



FACULTAD DE ENOLOGÍA Y GASTRONOMÍA

EFECTO DE LA CONCENTRACIÓN DE POLIFENOLES DE LA MADERA SOBRE  
EL COLOR DEL VINO TINTO

Tesis que para obtener el grado de Licenciado en Enología presenta

Emiliano Cabello Lara

Matricula: 361747

Director

Víctor Alfonso Macías Carranza

Diciembre 2024



"2024, año de los pueblos yumanos, pueblos originarios y de las personas afromexicanas"

## Facultad de Enología y Gastronomía



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

"Efecto de la concentración de polifenoles de la madera sobre el color del vino tinto"  
TESIS

Para cubrir los requisitos necesarios para obtener el título de

LICENCIADO EN ENOLOGÍA

Presentada

EMILIANO CABELLO LARA

No. Matrícula 361747

A quien el Comité de Tesis 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 rubrica:

Dr. Víctor Alfonso Carranza Macías  
DIRECTOR

Dra. Cristina Domínguez Castro  
SINODAL

Mtra. Gricelda López González  
SINODAL

"POR LA REALIZACIÓN PLENA DEL SER"

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA  
DE BAJA CALIFORNIA



FACULTAD DE ENOLOGÍA  
Y GASTRONOMÍA

# Dedicatoria

Celina Lara Turrent

Alejandro Cabello Pasini

Rodolfo Cabello Fuentes

Marielena Pasini

Rodolfo Cabello Pasini

## **Agradecimientos**

Le agradezco a Alejandro Cabello Pasini por inculcarme las ganas de estudiar y tener su apoyo incondicional durante toda mi vida.

Le agradezco a Celina Lara Turrent por ayudarme durante toda mi educación a entender y facilitar mis estudios.

Le agradezco a Victor Alfonso Macias Carranza por ser mi director de tesis, enseñarme y tenerme paciencia durante todo este tiempo.

Le agradezco a José Luis Rangel Salinas por su atención en la carrera como tutor, al igual que sus enseñanzas en el servicio social profesional.

Le agradezco a Cristina Domínguez Castro por su ayuda durante toda la carrera, su visión y dedicación de ayudar a los estudiantes es admirable.

Le agradezco a Andrés Luna por ser mi tutor durante toda la carrera y ayudarme con todos mis trámites durante mi estancia en la UABC.

Le agradezco a Gricelda López González por ayudarme en mi formación profesional dentro y fuera de la escuela.

Le agradezco a Rolando Mendoza por su amistad y compañerismo durante toda la carrera.

Le agradezco a Andrea Gallardo Fernández por su amistad y compañerismo durante toda la carrera.

## Resumen

En la actualidad, se ha incrementado a nivel mundial el uso de tanques enológicos de plástico para reducir los costos de producción de vino. Además, la adición de virutas de roble ha sido utilizado recientemente durante la maduración de los vinos para adicionar aromas y sabores de roble en vinos blancos y tintos producidos en contenedores neutros. Por otro lado, se ha demostrado que la permeabilidad de oxígeno en los tanques de plástico es mayor a la permeabilidad observada en barricas de roble. Se ha demostrado, además, que la tasa de lixiviación de polifenoles provenientes de viruta de madera es mucho más rápida que la de las duelas de una barrica de vino. Sin embargo, se desconoce cuál es el efecto de este aumento en las tasas de permeabilidad de oxígeno y la concentración de viruta alternativa sobre el color y otras características fisicoquímicas del vino producido en tanques de plástico. Por lo anterior, el objetivo de este estudio fue evaluar el efecto de la concentración de virutas de roble sobre las características químicas de vino tinto madurado en tanques de plástico (Flextank) y barricas de roble. El Vino Nebbiolo (60%) con Tempranillo (40%) fue homogeneizado y dividido en seis tanques de plástico de 265 L y una barrica de roble nueva. Se adicionó viruta de roble americano tostado medio (0 – 100% área de una barrica de roble, Tonelería Nacional) en el vino madurado en tanques de plástico. El vino se maduró en los tanques de plástico y la barrica de roble por seis meses y se embotelló posteriormente. Se determinó el tono, la densidad de color, la concentración de ácidos orgánicos totales, pH, acidez volátil, polifenoles totales, y sulfitos libres y totales del vino durante el periodo de maduración (6 meses) y por un año en botella. Se observaron diferencias significativas en la densidad de color, tono y en todos los parámetros fisicoquímicos estudiados en el vino en relación a la concentración de

virutas de madera añadida y en relación al uso de tanques de plástico o barrica de roble. La densidad de color fue 15% mayor en el vino madurado en barrica y en los tratamientos de tanques de plástico con la mayor concentración de viruta de madera añadida. Lo anterior sugiere una mayor estabilidad del color del vino debido a una mayor copigmentación por la mayor concentración de polifenoles de la madera. El tono del vino fue significativamente menor en el vino madurado en barrica de roble con relación a los tanques de plástico como resultado de la menor permeabilidad de oxígeno durante la crianza oxidativa. De manera similar, la concentración de sulfitos libres fue consistentemente menor en el vino con crianza en barrica de roble con relación a los tanques de plástico. Como resultado de lo anterior, la acidez volátil fue 12% mayor en el vino madurado en barrica de roble con respecto a los tanques de plástico. Los resultados demuestran que las características químicas del vino son impactadas por el contenedor y por la concentración de viruta añadida a los vinos.

**Palabras clave:** polifenoles, color, vino, madera

## CONTENIDO

Resumen.....	iv
Lista de Figuras.....	vii
Introducción.....	1
Antecedentes .....	4
Objetivo General .....	7
Objetivo Particular .....	7
Materiales y Métodos .....	8
Resultados y Discusiones .....	11
Literatura citada .....	33

## Lista de Figuras

Fig. 1. Depósito de antocianos en paredes internas de tanques de maduración de plástico (Flex tanks) en relación a la concentración de de madera alternativa (chips) añadida al vino .....	12
Figura 2. Densidad de color del vino incubado con diferentes concentraciones de viruta de madera y con crianza en barrica.....	15
Figura 3. Tono del vino incubado con diferentes concentraciones de viruta de madera y con crianza en barrica.....	18
Figura 4. Polifenoles totales del vino incubado con diferentes concentraciones de viruta de madera y con crianza en barrica.....	21
Figura 5. Acidez total y pH del vino incubado con diferentes concentraciones de viruta de madera y con crianza en barrica.....	24
Figura 6. Tono del vino incubado con diferentes concentraciones de viruta de madera y con crianza en barrica.....	27
Figura 7. Tono del vino incubado con diferentes concentraciones de viruta de madera y con crianza en barrica.....	30

## Introducción

El color del vino tinto es uno de los atributos sensoriales más importantes que influyen en la percepción y la apreciación del consumidor (Gutiérrez-Escobar et al., 2021). Los polifenoles, compuestos bioactivos presentes en la piel y las semillas de las uvas, han sido identificados como determinantes clave del color del vino tinto. El color del vino tinto es determinado por la interacción de compuestos químicos presentes en la uva y en el proceso de vinificación. Entre estos compuestos, los polifenoles han sido ampliamente estudiados debido a su contribución significativa al color, así como a otras características sensoriales y nutricionales del vino. Los polifenoles se dividen en varias clases, incluyendo flavonoides y no flavonoides, y su concentración en el vino está influenciada por una variedad de factores.

La concentración de polifenoles en el vino tinto está estrechamente relacionada con su coloración. Los flavonoides, en particular antocianinas, son responsables del color rojo, púrpura o azul característico del vino tinto (Gutiérrez-Escobar et al., 2021). Estos pigmentos se encuentran principalmente en la piel de la uva y su concentración varía según la variedad de uva, el clima, el suelo y las prácticas agrícolas. Se ha demostrado que la concentración de antocianinas está positivamente correlacionada con la intensidad del color del vino tinto (Smith et al., 2015). Además, la interacción entre las antocianinas y otros compuestos fenólicos, como los taninos, puede influir en la estabilidad del color y en la percepción sensorial del vino (Rodríguez-Delgado et al., 2020).

La concentración de polifenoles en el vino tinto puede ser modificada por una variedad de factores en el proceso de vinificación. Por ejemplo, la maceración durante la fermentación y la extracción enológica pueden aumentar la liberación de

antocianinas y otros polifenoles de la piel de la uva al mosto, lo que resulta en un mayor contenido de polifenoles en el vino final (González-Neves et al., 2018). Además, las prácticas enológicas, como el uso de diferentes levaduras, la temperatura y la duración de la fermentación, así como el envejecimiento en barricas de roble, pueden afectar la concentración y la composición de los polifenoles en el vino tinto (González-Neves et al., 2018; Smith et al., 2015).

La madera de roble es la más comúnmente utilizada en la fabricación de barricas y de madera alternativa, como pellets, chips, aserrín o láminas, que se introducen en los tanques para sustituir a la barrica. Los compuestos fenólicos presentes en el roble, como los elagitaninos, flavonoides y ácidos fenólicos, se transfieren al vino durante el envejecimiento, influyendo directamente en su perfil fenólico y su color (Chuteira and Grao, 2012). Este proceso no solo mejora la estabilidad del color del vino, sino que también puede añadir complejidad aromática y suavizar la astringencia, mejorando así la percepción sensorial global del vino (Puech et al., 1999).

Entre los diversos compuestos que influyen en la calidad del vino, los polifenoles desempeñan un papel crucial, no sólo en la estabilización del color, sino también en la contribución a su estructura, sabor y potencial antioxidante. La composición fenólica de la madera de roble, influenciada por factores como la especie de roble, el origen geográfico, el tostado de la barrica y el tiempo de envejecimiento, subraya la necesidad de una comprensión detallada para optimizar las prácticas de vinificación (Vignault, 2019). Por lo anterior, la interacción entre el vino y la madera de barrica durante el proceso de envejecimiento resulta en un fenómeno complejo que involucra la transferencia de polifenoles desde la madera

hacia el vino, afectando de manera significativa su composición y evolución cromática.

No obstante, la importancia del color del vino en su comercialización, no existen estudios en México sobre el impacto de la concentración de los polifenoles y las prácticas enológicas sobre la densidad del color y tono del vino tinto. Por lo anterior, el objetivo de este estudio es el de evaluar el impacto que tienen los polifenoles extraídos de viruta de roble sobre la densidad de color y tono en vinos tintos de Baja California, México.

## **Antecedentes**

El color del vino tinto desempeña un papel fundamental en la percepción y apreciación de los consumidores, siendo uno de sus atributos sensoriales más destacados (Gutiérrez-Escobar et al., 2021). Este color característico se debe en gran medida a la presencia de polifenoles, compuestos bioactivos presentes en la piel y semillas de las uvas, que han sido identificados como elementos clave en su determinación. La interacción de diversos compuestos químicos presentes tanto en la uva como en el proceso de vinificación contribuye a definir el color del vino tinto. Entre estos compuestos, los polifenoles han sido objeto de numerosos estudios debido a su significativa influencia en el color, así como en otras características sensoriales y nutricionales del vino. Clasificados en varias categorías, como flavonoides y no flavonoides, la concentración de polifenoles en el vino está influenciada por una amplia gama de factores.

El color característico del vino tinto es el resultado de una compleja interacción entre diversas moléculas presentes en las uvas y durante el proceso de vinificación. Entre estas moléculas, las antocianinas son particularmente destacadas. Las antocianinas son pigmentos flavonoides hidrosolubles que se encuentran principalmente en la piel de las uvas rojas y son responsables de una amplia gama de colores, desde rojos brillantes hasta tonos púrpuras profundos, dependiendo de su estructura y concentración (Lee and Skinkis, 2018). Estas moléculas son altamente sensibles al pH, lo que significa que su coloración puede variar según el entorno ácido o básico del vino, lo que añade una capa adicional de complejidad a su papel en la determinación del color del vino tinto.

El pH del vino puede influir en la estructura y la estabilidad de los pigmentos responsables del color, principalmente de las antocianinas. Las antocianinas son compuestos fenólicos que proporcionan tonalidades rojas, púrpuras y azules al vino tinto. Se ha demostrado que el pH afecta la forma molecular de las antocianinas, lo que a su vez puede influir en su coloración y estabilidad (He et al., 2019). En general, se observa que las antocianinas tienden a ser más estables y mantener su coloración intensa en un rango de pH moderadamente ácido, alrededor de 3.5 a 4.0. Sin embargo, en condiciones de pH más altas o más bajas, las antocianinas pueden experimentar cambios estructurales que afectan su coloración y precipitación. El efecto del pH sobre el color del vino se atribuye en gran medida a la influencia del entorno químico en la forma molecular de las antocianinas. A pH bajos, las antocianinas tienden a formar complejos más estables con otros componentes del vino, como los taninos, lo que contribuye a una coloración más intensa y una mayor estabilidad del color (He et al., 2019). Por otro lado, a pH más altos, las antocianinas pueden experimentar desnaturalización y precipitación, lo que resulta en una pérdida de color y claridad en el vino.

Además de las antocianinas, otros compuestos fenólicos también contribuyen al color del vino tinto. Los taninos, por ejemplo, son polifenoles que se encuentran principalmente en las semillas y las pieles de las uvas, así como en el roble utilizado durante el envejecimiento del vino (Gutiérrez-Escobar et al., 2021). Estos compuestos pueden contribuir a tonalidades más oscuras y a la astringencia en el vino tinto, aunque su influencia en el color puede ser más indirecta que la de las antocianinas (Chassaing et al., 2019). Además, los flavonoles, como la quercetina y la miricetina, también pueden jugar un papel en la modulación del color del vino tinto, aunque su contribución puede ser menos significativa en comparación con las

antocianinas y los taninos. La compleja interacción entre estas diversas moléculas fenólicas confiere al vino tinto su amplia gama de colores y su carácter sensorial distintivo.

La concentración de polifenoles en el vino tinto está estrechamente relacionada con su coloración. Las antocianinas, que son un tipo de polifenol, son los principales responsables de los tonos rojos, púrpuras y azules característicos del vino tinto. Se ha demostrado que una mayor concentración de antocianinas está asociada con una mayor intensidad de color en el vino tinto (Smith et al., 2015). Además de las antocianinas, otros polifenoles, como los taninos y los flavonoles, también pueden influir en el color del vino tinto, aunque su contribución puede ser más indirecta. Por otro lado, la concentración de polifenoles en el vino tinto puede ser afectada por una variedad de factores, incluyendo el cultivo de la vid, las prácticas enológicas y el procesamiento del vino. Por ejemplo, la elección del portainjerto, la exposición al sol y el manejo de la cosecha pueden influir en la concentración de polifenoles en las uvas (Rinaldi et al., 2019). Además, las prácticas enológicas, como la maceración y la fermentación, así como el envejecimiento en barricas de roble, pueden afectar la extracción y la estabilidad de los polifenoles en el vino tinto.

De acuerdo con lo antes descrito, entender y controlar estos factores es crucial para los productores que buscan optimizar la concentración de polifenoles, la calidad y las propiedades organolépticas del vino.

## **Objetivo General**

Evaluar el efecto de la concentración de polifenoles de madera sobre las características químicas del vino tinto.

## **Objetivos Particulares**

1. Evaluar el efecto de los polifenoles totales extraídos de viruta de roble sobre la densidad de color y tono de vino tinto en Baja California.
2. Evaluar el impacto de los polifenoles totales extraídos de viruta de roble sobre la concentración de sulfitos libres y totales, el pH, la acidez total y la acidez volátil de vino tinto.

## Materiales y métodos

Se utilizó una mezcla de vino tinto de las variedades Nebbiolo (50%) y Tempranillo (50%) con los siguientes datos de vinificación. La producción del vino se realizó en la vinícola Fratelli Pasini de San Antonio de las Minas, Baja California, México.

	Nebbiolo	Tempranillo
pH	3.32	3.77
Brix	23.9	26.9
Acidez titulable	6.3	3.5
YAN	125.0	74.5

El vino se homogeneizó y se colocó en recipientes de plástico Flextank (Australia) y en una barrica de roble americano con tostado medio (Tonelería Nacional, Chile). Los tanques Flextank tenían una capacidad de 265 litros, y la barrica de roble era de 225 litros. La fermentación del mosto, se llevó a cabo durante 15 días y se usó la levadura *Saccharomyces Cerevisiae* marca Fermol Super 16 de AEB.

Para sustituir la madera de barrica, a los tanques Flextank se agregó viruta de roble americano (Tonelería Nacional, Chile) equivalente a 0 (control), 50 y 100% del área interna de una barrica de roble equivalente a 2 m<sup>2</sup>. Para determinar el efecto de los polifenoles extraídos de las virutas de roble, se determinó el alcohol en 14% y cada dos semanas se analizó la densidad de color, el tono, la concentración de polifenoles totales del vino, la concentración de sulfitos libres, totales, el pH, la acidez total y la acidez volátil del vino.

La acidez total del vino se cuantificó por titulación potenciométrica. El método establece la neutralización de todos los ácidos presentes en la muestra de vino o mosto con una solución de hidróxido de sodio a una concentración de 0.01 N. Durante la titulación, el pH se monitorea con un potenciómetro hasta que se llega al punto final de pH de 8.2, con este valor se establece que todos los ácidos han sido neutralizados. A continuación se calcula la concentración de la acidez total con la fórmula  $AT(g/mL) = (Vg)(75)(N \text{ NaOH}) / (Vm)$  donde Vg es el volumen gastado de NaOH, N es la concentración de NaOH y Vm se refiere al volumen de la muestra.

El pH del vino se determinó con un potenciómetro Orion 410 (Thermo Fisher Scientific, USA) con un electrodo de vidrio y con referencia interna de Ag/AgCl, el método se realizó de acuerdo a lo establecido por la Organización Internacional de la Vid y el Vino (OIV, 1990).

La densidad de color y el tono del vino se determinaron espectrofotométricamente de acuerdo al protocolo establecido por Iland et al. (2004). Para cada muestra se determinó la absorbancia a 320, 420, 520 y 620 nm y posteriormente se calculó cada parámetro con las siguientes fórmulas: Densidad de color (A.U.) =  $A_{420} + A_{520}$  y Tono (A.U.) =  $A_{420} / A_{520}$ .

Los polifenoles totales se determinaron por el método de Folin-Ciocalteu. Este método se basa en que los compuestos fenólicos reaccionan con el reactivo de Folin-Ciocalteu dando lugar a una coloración azul la medida de la absorbancia se midió espectrofotométricamente a 765 nm (OIV, 1990). La concentración final se calculó por medio de curvas de calibración a través de la ecuación de la recta  $y = mx + b$ , donde "y" es la variable independiente (absorbancia), "m" es la pendiente

de la recta, “x” es la variable dependiente (concentración) y “b” es la ordenada al origen.

La concentración de sulfitos libres y totales se determinó mediante el método de aspiración-oxidación que consiste en la separación del dióxido de azufre disuelto en la muestra adicionando ácido fosfórico para disminuir el pH y promover su liberación. Posteriormente es atrapado en una solución de peróxido de hidrógeno para formar ácido sulfúrico equivalente al SO<sub>2</sub> liberado y hacer su posterior cuantificación por titulación con una solución de NaOH a una concentración 0.01N (OIV, 1990). A continuación se calcula la concentración de los sulfitos con la fórmula  $SO_2 \text{ (mg/mL)} = (Vg)(32000)(N \text{ NaOH}) / (Vm)$  donde Vg es el volumen gastado de NaOH, N es la concentración de NaOH y Vm se refiere al volumen de la muestra.

La acidez volátil se determinó mediante una destilación por arrastre de vapor para separar los ácidos volátiles, posteriormente se determina la concentración de todos los ácidos destilados se cuantifican a través de una titulación con una solución de NaOH con una concentración de 0.01N usando fenolftaleína al 1% como indicador del punto final de la titulación (Zoecklein et al., 1995). Posteriormente, se calcula la concentración de la acidez volátil con la fórmula  $AV \text{ (g/mL)} = (Vg)(60)(N \text{ NaOH}) / (Vm)$  donde Vg es el volumen gastado de NaOH, N es la concentración de NaOH y Vm se refiere al volumen de la muestra.

Para los análisis estadísticos, todos los análisis se realizaron por triplicado. Las diferencias estadísticas entre las características fisicoquímicas del vino se determinaron mediante un ANDEVA después de probar normalidad y homocedasticidad de los datos. Todas las comparaciones múltiples de promedios se hicieron con la prueba de Tukey ( $p < 0.05$ , Zar 1974).

## Resultados y Discusión

La precipitación de antocianos en las paredes internas de los tanques de plástico varió en relación a la concentración de madera alternativa (chips) añadidos al vino (Fig. 1). La mayor concentración de antocianos precipitados se observó en el tanque control o sin la adición de madera alternativa al vino. Por el contrario, la menor concentración de antocianos precipitados se observó en el tanque con la adición de madera alternativa correspondiente al 100% del área de la bodega.

Los polifenoles, especialmente los taninos, interactúan con los antocianos para formar complejos estables. Estos complejos pueden ser más resistentes a factores que normalmente degradarían a los antocianos, como el pH, la luz y el oxígeno (Boulton, 2001). Una de las interacciones más importantes entre los polifenoles y los antocianos es la copigmentación. En este fenómeno, los polifenoles actúan como copigmentos que se asocian con los antocianos, intensificando su color y estabilizándolo. Esta copigmentación no solo mejora la apariencia del vino, sino que también puede influir en su sabor y aroma (Boulton, 2001). Además de la copigmentación, los polifenoles también pueden participar en reacciones de polimerización con los antocianos. Estas reacciones resultan en la formación de pigmentos poliméricos, que son más estables a lo largo del tiempo. Estos pigmentos poliméricos son menos susceptibles a la decoloración y pueden mantener el color del vino durante períodos prolongados de almacenamiento (He et al., 2012). Por lo

anterior, la precipitación de antocianos es posiblemente el resultado de la menor concentración de polifenoles en el tanque control. Por otro lado, los tanques con mayor concentración de madera alternativa proveen mayor concentración de polifenoles, lo que incrementa la copigmentación y estabiliza los antocianos, reduciendo significativamente su precipitación.

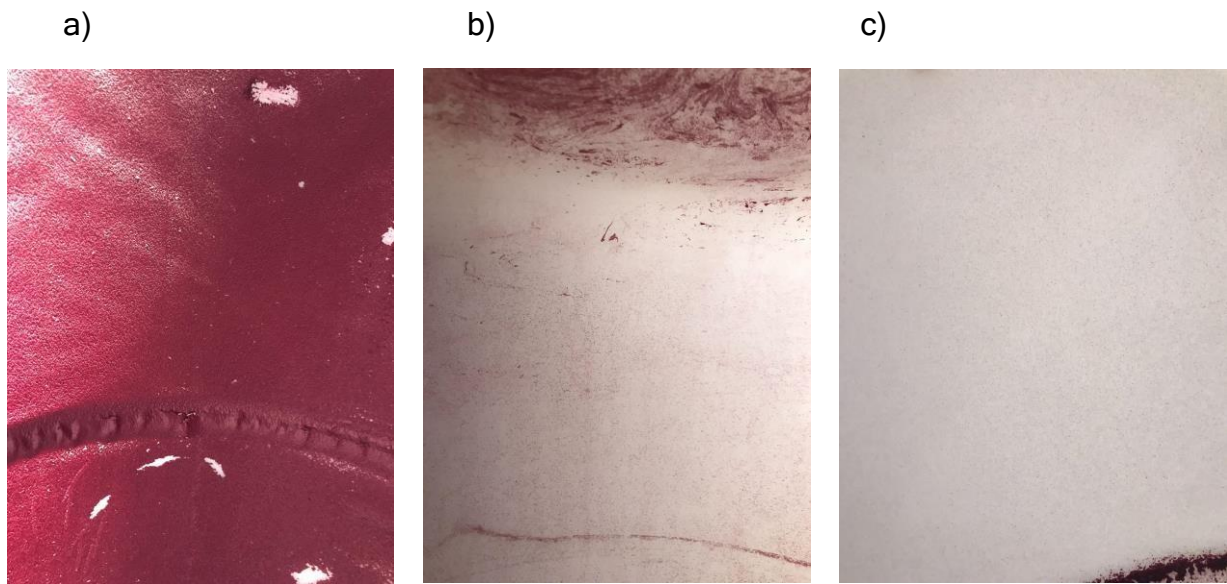


Fig. 1. Depósito de antocianos en paredes internas de tanques de maduración de plástico (Flex tanks) control (a) y con 50% (b) y 100% (c) de concentración de madera alternativa (chips) añadida al vino.

Se observaron diferencias significativas ( $p < 0.05$ ) en la densidad de color en los tratamientos de adición de madera alternativa (Fig. 2). La concentración de polifenoles fue significativamente mayor ( $p < 0.05$ ) en el tratamiento de barrica de madera de roble que en los tratamientos con madera alternativa adicionada al vino. Sin embargo, el tratamiento de madera adicionada de 100% de área, fue significativamente mayor a los tratamientos con 50% y 0% (control). Estos resultados se observaron durante el periodo de crianza en barrica y durante la crianza en botella.

Estudios demuestran que los polifenoles, específicamente los taninos, presentes en el vino tinto, contribuyen significativamente en el color y la sensación táctil (astringencia) de la bebida. Además, la interacción de estos polifenoles con otros compuestos presentes en el vino puede influir en la percepción del color por parte de los consumidores (Bichescu and Stanciu 2019). La adición de taninos enológicos, por ejemplo, incrementó significativamente la densidad de color en el vino de uva Fetească neagră en Rumania. La adición de 20 a 40 g/hL incrementó en 100% la densidad de color con respecto a los controles. El incremento de la densidad de color se debió principalmente a un aumento de polimerización (copigmentación) de las antocianos. Es probable que el incremento en la densidad de color en nuestro experimento se deba también al resultado del incremento de antocianos aportados por la madera alternativa. El incremento de la intensidad de color se observó tanto en la crianza en barrica como en la crianza en botella. Lo anterior sugiere que la estabilización de las antocianinas perdure por periodos largos de tiempo en el vino. Un aspecto importante, es que los copigmentos incrementan el color del vino, y modifican la tonalidad, por lo que el color de los vinos podría presentar diferentes tonos dependiendo de la composición. Esta

copigmentación permite la formación de uniones más estables, y facilita la condensación de los antocianos que pueden reaccionar formando nuevos pigmentos (Brouillard, et al. 1994).

La densidad de color fue mayor en el vino con crianza en barrica que en el vino con crianza en tanques de plástico y con la adición de madera alternativa (Fig. 2). Se ha demostrado que la concentración de polifenoles específicos puede variar entre las barricas de roble y la madera alternativa proveniente de la misma madera y con el mismo tostado (Del Alamo Sanza et al., 2004). Por ejemplo, la concentración de vainillina y ácido gálico en el vino con crianza en barrica de roble fue mayor que el del vino con crianza en tanques de acero inoxidable y con la adición de madera alternativa. Por el contrario, la concentración de ácido caféico en el vino con crianza en barrica de roble fue significativamente menor que el aportado por la madera alternativa. Estas diferencias en la concentración y tipo de polifenoles generó un impacto en la densidad y tono del vino. Por lo que las diferencias observadas en este estudio también podrían ser el resultado de diferencias en el aporte de polifenoles específicos por parte de la barrica de roble y la madera alternativa.

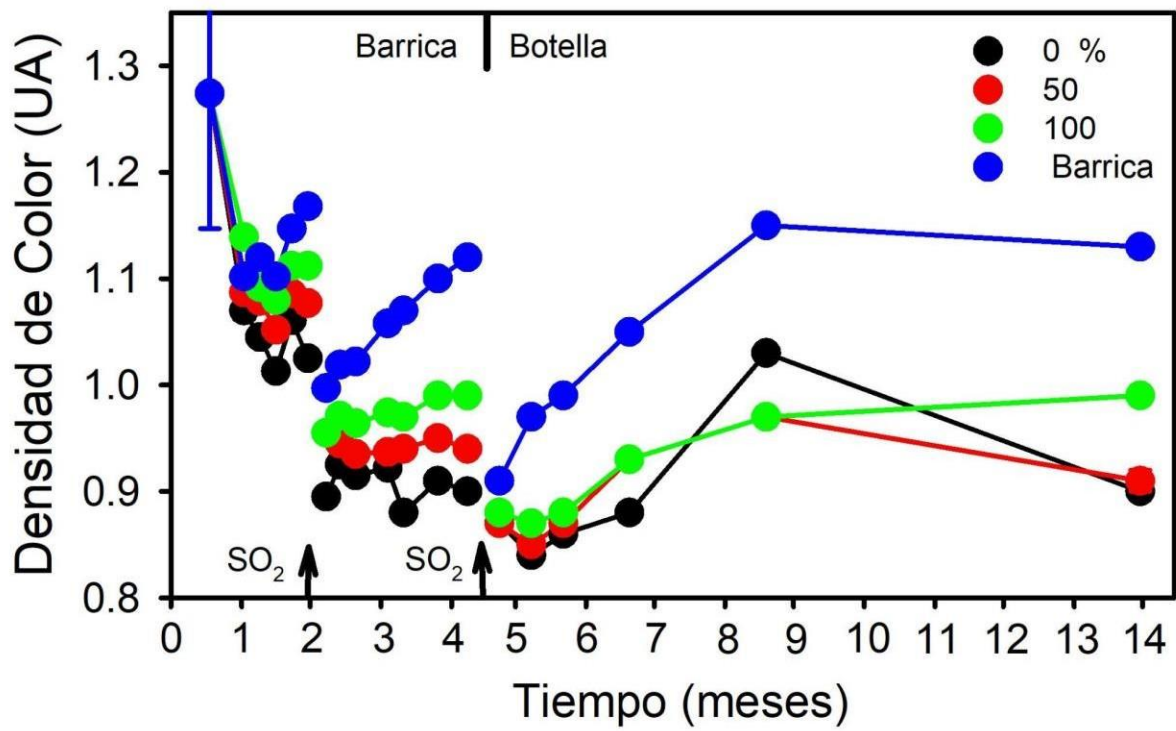


Figura 2. Densidad de color del vino envejecido con diferentes concentraciones de viruta de madera y con crianza en barrica. Símbolos representan el promedio de tres mediciones, barras de error no visualizadas son menores que el símbolo). Flechas indican sulfitación del vino.

El tono del vino varió significativamente ( $p < 0.05$ ) en relación a la cantidad de madera alternativa añadida (Fig. 3). En general, el tono más bajo se encontró en el vino con crianza en barrica de madera y significativamente más alto ( $p < 0.05$ ) en el vino con crianza en tanques de plástico y con adición de madera alternativa. Aunque se observaron diferencias significativas en el tono, la diferencia fue lo suficientemente pequeña como para no observar diferencias en la copa. El tono del vino provee información sobre la proporción entre la concentración de pigmentos amarillos/pardos (A420) y la concentración de pigmentos rojos (A520). Un incremento de los valores de tono indica un incremento de los tonos amarillo/pardo o la reducción de pigmentos rojos.

Se ha demostrado que la concentración de polifenoles en el vino puede influir en su tonalidad. Por ejemplo, se ha observado que a medida que aumenta la concentración de taninos en el vino tinto, se intensifica el tono rojo oscuro característico de esta variedad (García-Estévez et al., 2017). En este estudio se observó que el incremento de pigmentos disminuyó los valores de tono. Lo anterior significa que se redujo la cantidad de pigmentos amarillos que se encuentran en menores concentraciones lo que provee al vino de una tonalidad más roja y menos oxidada.

Contrario a los resultados que se presentan en este trabajo, diferentes autores han encontrado que la intensidad de color y tonalidad se modifican dependiendo del contenedor donde se realice la crianza. Los resultados demuestran que el tono aumentó un 6% en el vino criado en barrica respecto al vino criado en botella. Más específicamente, para el vino envejecido en barrica se encontraron más notas amarillas y rojas, mientras que el color del vino envejecido en botella fue menos amarillo y menos rojo (Pfahl et al., 2021). Sin embargo, algunos resultados

también presentan diferencias significativas entre réplicas de la misma fuente de madera de roble, lo que sugiere que este comportamiento se puede deber a la variabilidad de los resultados (Fernández de Simón et al., 2014).

Se observó un incremento en los valores del tono como resultado de la adición de dióxido de azufre (Fig. 3). El dióxido de azufre ( $\text{SO}_2$ ) es comúnmente utilizado en la industria del vino para prevenir la oxidación y como agente antimicrobiano (Boulton et al., 2013). El  $\text{SO}_2$  actúa como un agente reductor en presencia de antocianinas, lo que puede resultar en la degradación de estos pigmentos y, por lo tanto, en la decoloración del vino. El  $\text{SO}_2$  puede reaccionar con las antocianinas para formar compuestos oxidados, lo que puede resultar en una pérdida de color y brillo en los pigmentos. Además, el dióxido de azufre puede formar complejos con las antocianinas, lo que puede alterar su estructura molecular y afectar su capacidad para absorber y reflejar la luz, lo que a su vez puede conducir a la decoloración.

El  $\text{SO}_2$ , puede desencadenar reacciones de degradación en las antocianinas, rompiendo sus enlaces moleculares y afectando su estabilidad y coloración. Por lo anterior, el incremento de tono, indicativo de una oxidación, es el resultado de la reacción del dióxido de azufre sobre las antocianinas. Se sabe que el acomplejamiento del dióxido de azufre con las antocianinas es temporal, por lo que se observó una recuperación de la tonalidad roja al paso del tiempo, especialmente mientras el vino se encontraba con crianza en bodega.

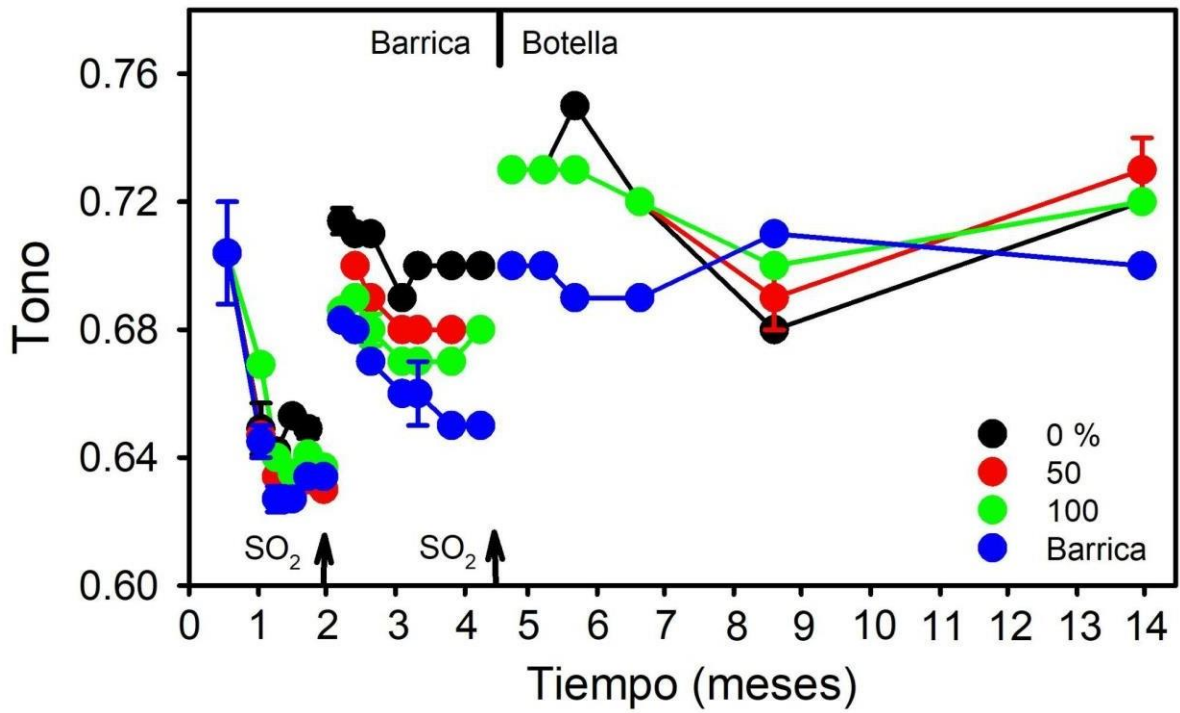


Figura 3. Tono del vino incubado con diferentes concentraciones de viruta de madera y con crianza en barrica. Símbolos representan el promedio de tres mediciones (barras de error no visualizadas son menores que el símbolo). Flechas indican sulfitación del vino.

La concentración de polifenoles totales en el vino varió significativamente ( $p < 0.05$ ) con relación a la adición de madera alternativa (Fig. 4). En general, la concentración de polifenoles fue menor ( $p < 0.05$ ) en el control (sin la adición de madera alternativa) y fue mayor en el tratamiento con barrica de roble y con el 100% de madera alternativa. La extracción de polifenoles de la barrica al vino durante la crianza es un proceso complejo que puede tener un impacto significativo en las características organolépticas y antioxidantes del vino tinto. Los polifenoles presentes en la madera de roble pueden difundirse hacia el vino a través de pequeñas fisuras y poros en la estructura de la barrica. Este proceso es facilitado por la presencia de alcohol y agua en el vino, que actúan como solventes para los compuestos de la madera (Fernández de Simón et al. 2003). Los polifenoles de la madera de roble pueden reaccionar con los compuestos del vino, como los taninos y antocianinas, formando nuevos compuestos que contribuyen a la complejidad y estructura del vino.

La concentración de polifenoles totales se incrementó con mayor tiempo de incubación en barrica de roble o con la adición de madera alternativa. El tiempo que el vino pasa en contacto con la madera de roble durante la crianza también influye en la extracción de polifenoles. Cuanto más tiempo permanezca el vino en la barrica o en contacto con madera, mayor será la transferencia de compuestos desde la madera al vino. El incremento de polifenoles totales en el vino en nuestro estudio se deriva del tiempo en que el vino está en contacto con la madera de la barrica y la madera añadida al vino en los tanques.

Se ha observado cuando se comparan vinos madurados en barrica, que no se encuentra una tendencia clara de un aumento o disminución de la concentración para los fenoles totales después del período de maduración del vino (Gambutí et

al.2010). Sin embargo, un mecanismo que pudiera estar involucrado en el aumento registrado de la concentración de polifenoles, podría explicarse por la extracción de elagitaninos que contribuyen a la estabilización de los compuestos fenólicos y evitan su precipitación (Garde-Cerdán et al. 2006).

Los elagitaninos presentan un mayor poder oxidativo comparado con otros polifenoles del vino, dando lugar a quinonas y radicales libres fenólicos (Vivas et al. 1996). Por lo tanto, los elagitaninos se presentan como reguladores de la oxidación, consumiendo el oxígeno y facilitando la formación de etanal. Esta reacción permite la condensación tanino-antociano favoreciendo la estabilización y aumento del color rojo y previniendo el desarrollo del color amarillo (García, 1997)

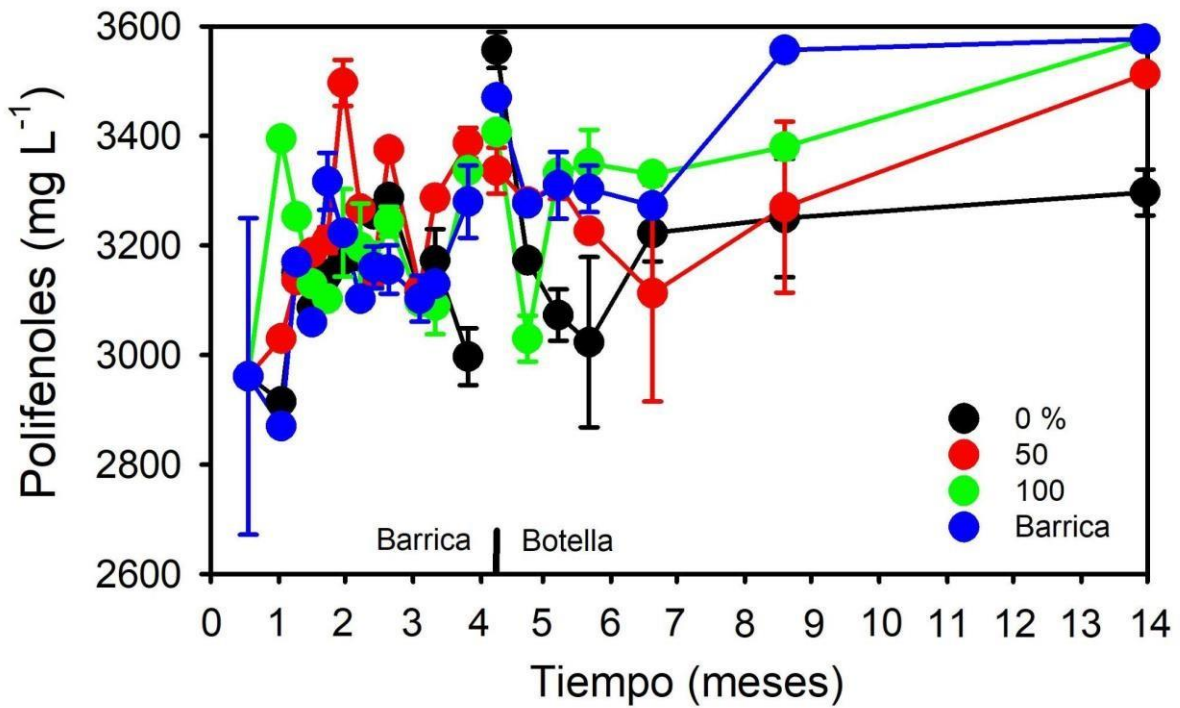


Figura 4. Polifenoles totales del vino incubado con diferentes concentraciones de viruta de madera y con crianza en barrica. Símbolos representan el promedio de tres mediciones (barras de error no visualizadas son menores que el símbolo).

En general, en la figura 5, se presenta una disminución en la concentración de la acidez titulable, mientras que existe un aumento en el pH. Este comportamiento es el esperado durante el proceso de vinificación. Sin embargo, durante el proceso, se observaron ligeras variaciones de pH y acidez a lo largo del tiempo como resultado de la adición de madera alternativa en tanques y debido a la crianza en barrica (Fig. 5). Por otro lado, no se observaron claras diferencias de pH y acidez total en los diferentes tratamientos. Los polifenoles pueden participar en complejos con otros compuestos como metales y proteínas, que contribuyen a la capacidad de tamponamiento del vino. Esto significa que pueden ayudar a que el pH del vino sea más estable frente a pequeñas variaciones, aunque no cambian directamente el valor del pH (Olivares 2014).

El ácido tartárico es el principal ácido en las uvas y, por lo tanto, en el vino. Durante la fermentación y el almacenamiento, el vino puede llegar a estar saturado con respecto a los tartratos, especialmente cuando el contenido de potasio y calcio es alto. Cuando el vino alcanza su límite de solubilidad, los tartratos comienzan a precipitarse en forma de cristales. El decremento en la acidez total del vino durante el proceso de crianza en barrica probablemente es el resultado de una precipitación de sales tartáricas debido a las bajas temperaturas durante el invierno. La solubilidad de los ácidos orgánicos en el vino varía con la temperatura. A temperaturas más bajas, la solubilidad de estos ácidos, disminuye, lo que puede favorecer la formación de cristales y su precipitación, llevando con ellos otros compuestos del vino, como los polifenoles. (Chidi et al. 2018).

Los polifenoles son compuestos orgánicos que contienen múltiples grupos fenólicos (anillos de benceno con grupos hidroxilo). Estos grupos hidroxilo (-OH) son

capaces de donar electrones y formar enlaces con metales, lo que les permite actuar como ligandos en la formación de complejos metálicos (Jackson 2020). Los polifenoles pueden interactuar con estos iones metálicos a través de sus grupos hidroxilo y carbonilo, formando complejos estables. La formación de estos complejos entre polifenoles y metales puede influir en la capacidad amortiguadora del vino, lo que puede ayudar a mantener el pH del vino sin cambios (Waterhouse et al. 2016). La interacción de los polifenoles con metales y otros compuestos en el vino es un proceso complejo que puede tener varios efectos indirectos sobre el pH del vino. Estos complejos pueden influir en las propiedades sensoriales del vino, afectando la percepción de acidez y astringencia (Ribéreau-Gayon, et al. 2006).

El incremento del pH, por ejemplo, reduce la sensación de astringencia de los vinos por la desnaturalización de las proteínas encargadas de la lubricación de la cavidad bucal en presencia de polifenoles (Peleg y Noble, 1999). Contrario al aumento del pH, la sensación de astringencia de los polifenoles aumenta significativamente en presencia de ácidos, facilitando la interacción entre las proteínas y los polifenoles (Sebert y Chassy 2004).

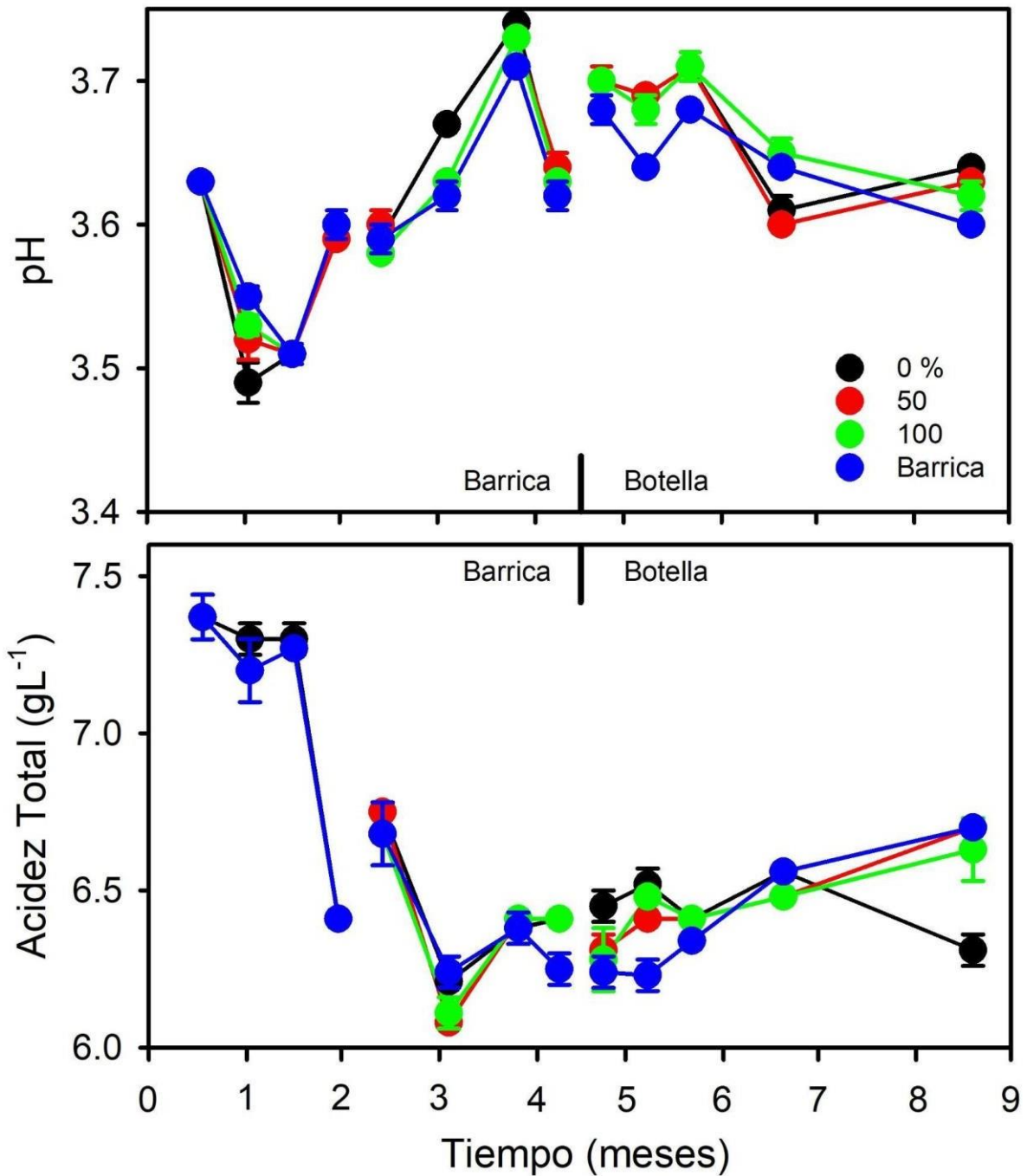


Figura 5. Acidez total y pH del vino incubado con diferentes concentraciones de viruta de madera y con crianza en barrica. Símbolos representan el promedio de tres mediciones, barras de error no visualizadas son menores que el símbolo).

Se observaron diferencias significativas ( $p < 0.05$ ) en la concentración de  $\text{SO}_2$  libre y acomplejados en relación a la adición de madera alternativa, tanto en la crianza en barrica como durante la crianza en botella (Fig. 6). Durante el proceso de crianza en tanques y barricas, se observa que la concentración de  $\text{SO}_2$  libre disminuye con mayor velocidad en la barrica y en el tratamiento con adición de madera al 100%. Sin embargo durante el tiempo en botella, la concentración más elevada se observa en los tratamientos con adición de madera (chips) y la menor el tratamiento con barrica. La diferencia en la concentración de  $\text{SO}_2$  libre podría tener consecuencias directas en la calidad final, protegiendo mejor al tratamiento con madera alternativa (chips) y dejando más vulnerable al tratamiento con barrica.

La concentración de los  $\text{SO}_2$  acomplejados se comportó de manera similar durante todo el proceso de crianza, tanto en barrica como en tanques. Al finalizar el proceso de crianza, la concentración se mantiene alrededor de los 50 mg/L para todos los tratamientos. Por lo general, el  $\text{SO}_2$  puede oxidarse, especialmente si el vino está en contacto con el oxígeno. Esto reduce la concentración de  $\text{SO}_2$  libre y aumenta la proporción de  $\text{SO}_2$  acomplejado. Este efecto se observa con mayor fuerza en el tratamiento con barrica.

La concentración de  $\text{SO}_2$  libre tiende a modificarse debido a múltiples reacciones con los polifenoles, que son susceptibles a la oxidación y donde se forman compuestos llamados quinonas y que pueden reaccionar con el  $\text{SO}_2$ , disminuyendo su concentración. Otros compuestos presentes en el vino, como oxígeno, azúcares, aldehídos y proteínas reaccionan con los  $\text{SO}_2$  dependiendo del pH (Gambutí et al. 2020).

El pH del vino influye en la forma química como se presenta el dióxido de azufre. A pH bajo, la forma de bisulfito ( $\text{HSO}_3^-$ ) es la más común. A medida que el

pH aumenta, la proporción de sulfito ( $\text{SO}_3^{2-}$ ) también aumenta, lo que facilita su oxidación a sulfato en presencia de oxígeno. Los sulfitos son más reactivos y, por lo tanto, más propensos a oxidarse en un medio donde el pH favorece su formación. Por lo que en vinos con un pH elevado, la oxidación de  $\text{SO}_2$  a  $\text{SO}_4$  será más rápida. Aparentemente, la mayor concentración de polifenoles y los valores de pH más bajos, podrían ser la causa de la disminución en la concentración de  $\text{SO}_2$  que se presenta en el tratamiento de barrica. Sin embargo, también se ha demostrado que la barrica tiene una mayor pérdida de  $\text{SO}_2$  libre, debido a una mayor permeabilidad del oxígeno, que el vino almacenado en tanques de plástico (Álamo Sanza, 2018). Por lo tanto, la maduración en barrica concede mejores características organolépticas, pero ofrece menos protección derivada del  $\text{SO}_2$ .

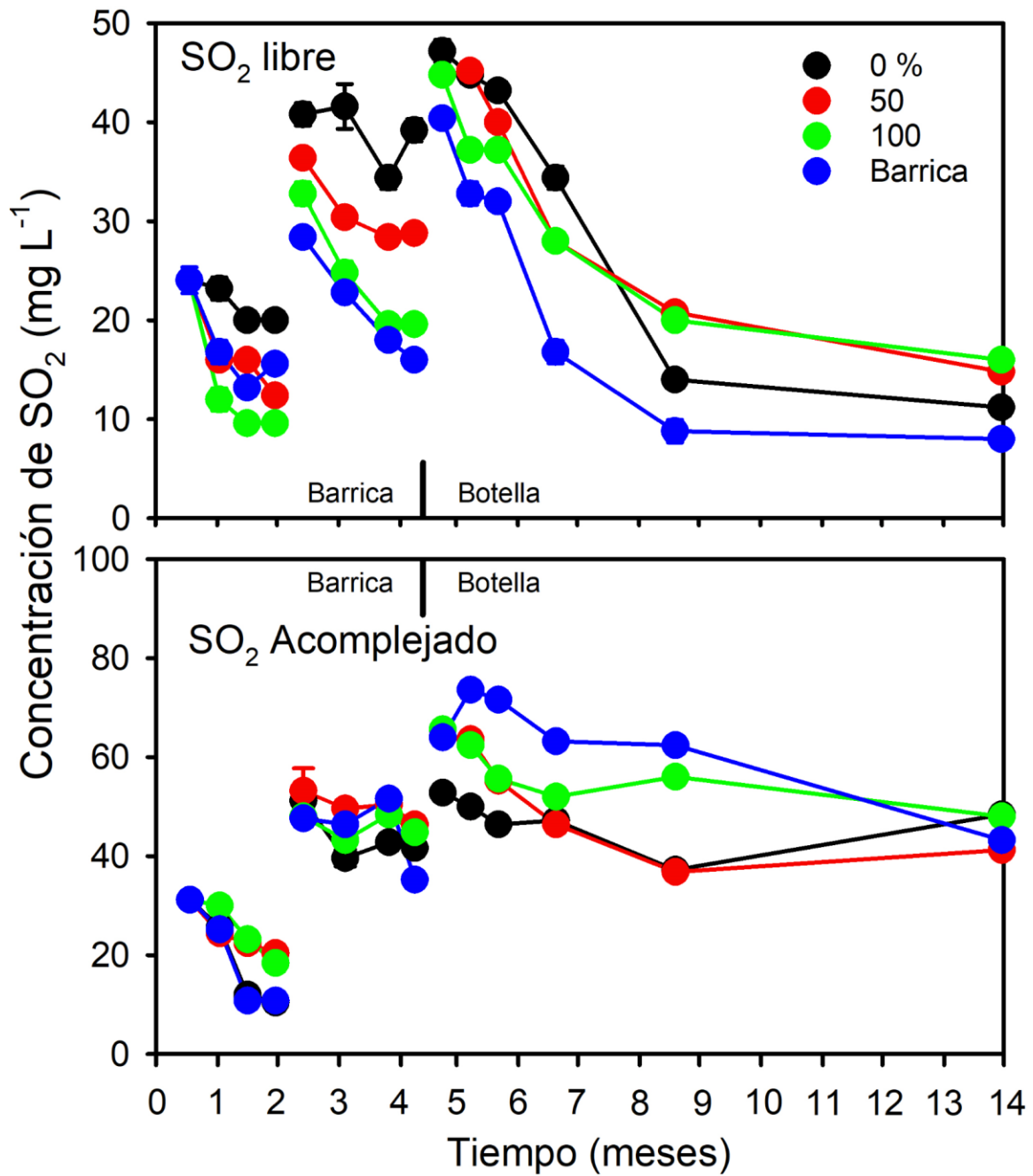


Figura 6. Concentración de sulfitos libres y acomplexados del vino incubado con diferentes concentraciones de viruta de madera y con crianza en barrica. Símbolos representan el promedio de tres mediciones (barras de error no visualizadas son menores que el símbolo).

El ácido acético en el vino se genera principalmente a través de un proceso de oxidación bacteriana del etanol. Este proceso es llevado a cabo por bacterias acéticas, como *Acetobacter* y *Gluconobacter*, que están presentes en el ambiente y pueden contaminar el vino durante su elaboración o almacenamiento. Para que las bacterias acéticas puedan oxidar el etanol, es necesaria la presencia de oxígeno. Esto significa que el vino que está en contacto con el aire es más susceptible a la formación de ácido acético (Pérez 2015).

Se observó un incremento de la acidez volátil a lo largo del tiempo en todos los tratamientos (Fig. 7). La acidez volátil del vino, varió significativamente con relación a la cantidad de madera alternativa añadida. La concentración más alta, se presentó en el tratamiento en barrica y hasta un 35% mayor que en los tratamientos en tanques. Este comportamiento se puede deber a la mayor permeabilidad del oxígeno y una disminución en la concentración de SO<sub>2</sub> que se presenta en la barrica, oxidando el etanol y generando una mayor concentración de ácido acético. El resultado es el desarrollo de un sabor a vinagre, si la concentración de ácido acético es demasiado alta. Esta condición es conocida como "picado acético" y es generalmente considerada un defecto en el vino.

Otros compuestos presentes en el vino, como los polifenoles, tienen propiedades antioxidantes y entre ellos se encuentran los taninos y los flavonoides. Estos compuestos pueden proteger al vino contra la oxidación, ya que son capaces de neutralizar los radicales libres y reducir la disponibilidad de oxígeno, lo que limita la actividad de las bacterias acéticas que producen ácido acético. Además de su función antioxidante, algunos polifenoles tienen propiedades antimicrobianas que pueden inhibir el crecimiento de bacterias acéticas y, por lo tanto, reducir la formación de ácido acético en el vino. Por ejemplo, los taninos pueden unirse a las

paredes celulares de las bacterias, afectando su crecimiento y reproducción (Rodríguez-Rodríguez 2015).

Los polifenoles actúan como antioxidantes y agentes antimicrobianos, limitando la oxidación del etanol y la actividad de las bacterias acéticas. Por lo tanto, vinos con mayor concentración de polifenoles, como los tintos, suelen ser menos propensos a desarrollar altos niveles de ácido acético en comparación con vinos con menor concentración de estos compuestos. Estos resultados son consistentes con los tratamientos que se desarrollaron en tanques. Sin embargo, la concentración de acidez volátil que se presenta en el tratamiento con barrica se puede deber a una mayor oxigenación y otros factores que promovieron la formación de ácido acético, como la disminución de SO<sub>2</sub> libre. (Bautista- Ortín, et al. 2008).

Aunque la concentración de polifenoles influye en la formación de ácido acético, otros factores como la temperatura de almacenamiento, la exposición al oxígeno y la higiene en la bodega también juegan un papel crucial. Un vino con alta concentración de polifenoles puede aún desarrollar ácido acético si no se maneja adecuadamente.

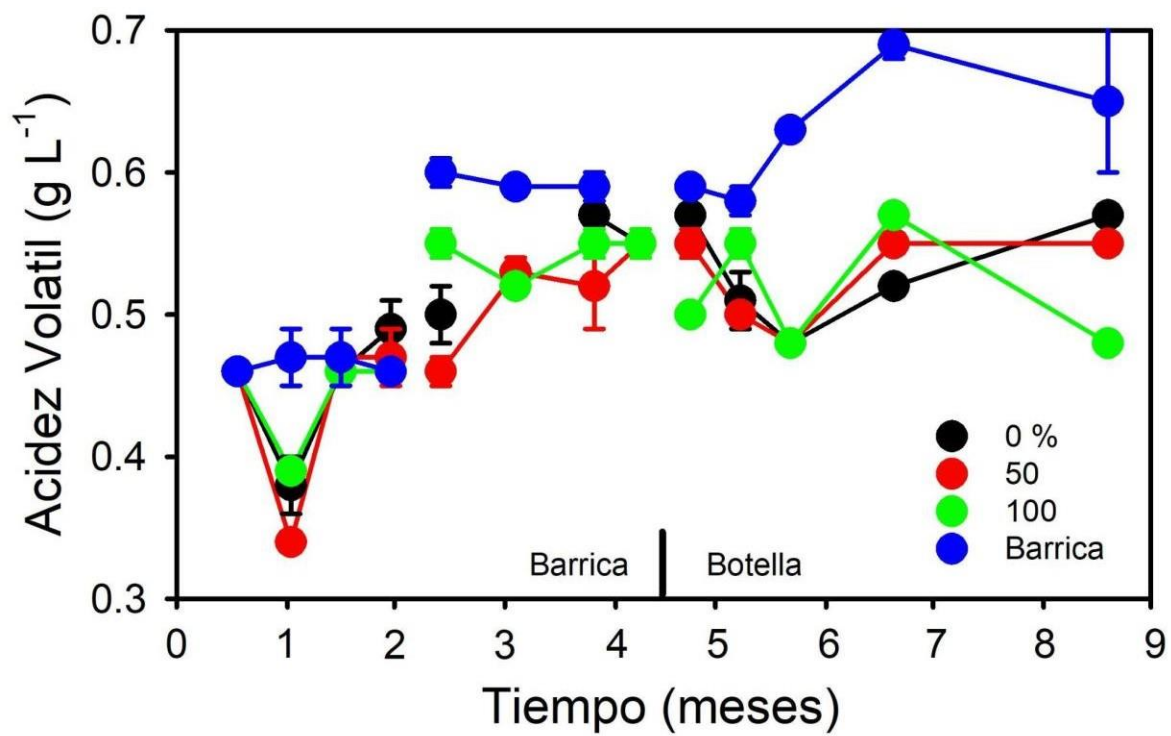


Figura 7. Tono del vino incubado con diferentes concentraciones de viruta de madera y con crianza en barrica. Símbolos representan el promedio de tres mediciones (barras de error no visualizadas son menores que el símbolo).

## Conclusiones

En general, se observó un impacto de la concentración de los polifenoles sobre los parámetros fisicoquímicos en todos los tratamientos, con respecto al control. Estas diferencias en la concentración y tipo de polifenoles generó un impacto en la densidad y tono del vino, por lo que las diferencias observadas en este estudio también son el resultado de diferencias en el aporte de polifenoles específicos por parte de la barrica de roble y la madera alternativa.

El SO<sub>2</sub> puede desencadenar reacciones de degradación en las antocianinas, rompiendo sus enlaces moleculares y afectando su estabilidad y coloración. Por lo anterior, el incremento de tono, indicativo de una oxidación, es el resultado de la reacción del dióxido de azufre sobre las antocianinas. Se sabe que el acomplejamiento del dióxido de azufre con las antocianinas es temporal, por lo que se observó una recuperación de la tonalidad roja al paso del tiempo, especialmente mientras el vino se encontraba con crianza en barrica.

Los polifenoles actúan como antioxidantes y agentes antimicrobianos, limitando la oxidación del etanol y la actividad de las bacterias acéticas. Sin embargo, la concentración de acidez volátil que se presenta en el tratamiento con barrica se puede deber a una mayor oxigenación y otros factores como la disminución de SO<sub>2</sub> libre, que promovieron la formación de ácido acético.

Los polifenoles del vino, especialmente los antocianos y taninos, juegan un papel crucial en la determinación y estabilidad del color del vino. Los antocianos son responsables de los tonos rojos y púrpuras, mientras que los taninos contribuyen a la formación de complejos pigmentarios, estabilizando el color durante el

envejecimiento. La interacción entre estos compuestos y otros factores, como el pH y la concentración de oxígeno, puede influir en la intensidad y tonalidad del color.

La gestión adecuada de los polifenoles es crucial para asegurar la calidad del vino. Un balance adecuado de estos compuestos puede potenciar las características deseables del vino, mientras que un exceso o una deficiencia puede resultar en defectos, como un color inestable o un sabor desequilibrado. Las técnicas de vinificación, por lo tanto, deben orientarse a optimizar la extracción y estabilización de los polifenoles para mejorar la calidad global del vino.

En resumen, los polifenoles tienen un papel multifacético en la determinación de las características de color y fisicoquímicas del vino, influyendo en su estabilidad, percepción sensorial, y calidad final. La comprensión y control de estos compuestos son esenciales para la producción de vinos de alta calidad con características deseables y consistentes.

## Literatura Citada

- Álamo-Sanza, M., & Nevares-Domínguez, I.G. (2018). La barrica de roble como recipiente activo: una revisión crítica de los conocimientos pasados y actuales. Fundación para la Cultura de Vino, Madrid España. 82 pp.
- Bautista- Ortín, A. B., Lencina, A. G., Cano- López, M., Pardo- Mínguez, F., López-Roca, J. M., & Gómez- Plaza, E. (2008). The use of oak chips during the ageing of a red wine in stainless steel tanks or used barrels: Effect of the contact time and size of the oak chips on aroma compounds. *Australian Journal of Grape and Wine Research*, 14(2), 63-70.
- Bichescu, C., & Stanciu, S. (2019). The influence of oenological tannins on the fermentation and color stability of a Romanian red wine. *Romanian Biotechnological Letters*, 24(1), 57-65.
- Boulton, R. (2001). The copigmentation of anthocyanins and its role in the color of red wine: A critical review. *American Journal of Enology and Viticulture*, 52(2), 67-87.
- Boulton, R. B., Singleton, V. L., Bisson, L. F., & Kunkee, R. E. (2013). The Physical and Chemical Stability of Wine. Boulton (Ed.), *Principles and practices of winemaking*. Springer Science & Business Media. (620 pp. 320-347).
- Brouillard R., & Dangles O. (1994) Anthocyanins molecular interactions: the first step in the formation of new pigments during wine aging. *Food Chemistry*, 51, 365-371.

- Chidi, B.S., Bauer, F.F., & Rossouw, D. (2018). Organic acid metabolism and the impact of fermentation practices on wine acidity: A review. *South African Journal of Enology and Viticulture*, 39(2), 1-15.
- Chassaing, S., Ghidossi, R., & Poupot, C. (2019). Impact of grape variety on the concentration of phenolic compounds and antioxidant activity of red wines. *Beverages*, 5(3), 49.
- Del Alamo-Sanza M., Escudero, J.A.F., & De Castro-Torío, R. (2004). Changes in Phenolic Compounds and Colour Parameters of Red Wine Aged with Oak Chips and in Oak Barrels. *Food Science and Technology International*, 10(4): 233-241.
- Fernández de Simón, B., Hernández, T., Cadahía, E., Dueñas, M., & Estrella, I. (2003). Phenolic compounds in a Spanish red wine aged in barrels made of Spanish, French and American oak wood. *European Food Research and Technology*, 216: 150-156.
- Gambutì, A., Capuano, R., Tiziana, M., Daniela, L., & Luigi, S. (AÑO). Effect of aging in new oak, one-year-used oak, chestnut barrels and bottle on color, phenolics and gustative profile of three monovarietal red wines. *European Food Research and Technology*. 231: 455-465.
- Gambutì, A., Picariello, L., Rinaldi, A., Ugliano, M., & Moio, L. (2020). Impact of 5-year bottle aging under controlled oxygen exposure on sulfur dioxide and phenolic composition of tannin-rich red wines. *OENO One*, 54(3): 623-636.

- García-Estévez, I., Alcalde-Eon, C., Puente, V., & Escribano-Bailón, M. T. (2017). Enological tannin effect on red wine color and pigment composition and relevance of the yeast fermentation products. *Molecules*, 22(12): 2046.
- Garaguso, I., & Nardini, M. (2015). Polyphenols content, phenolics profile and antioxidant activity of organic red wines produced without sulfur dioxide/sulfites addition in comparison to conventional red wines. *Food Chemistry*, 179: 336-342.
- Garde-Cerdán, T., & Ancn-Azpilicueta, C. (2006) Review of quality factors on wine aging in oak barrels. *Trends in Food Science & Technology*.17: 438-447.
- González-Neves, G., Gil, G., Barreiro, L., & Fernández, M. (2018). Influence of winemaking techniques on phenolic and volatile composition of Tannat wines. *Food Research International*, 105: 509-517.
- Gutiérrez-Escobar, R., Aliaño-González, M.J., Cantos-Villar, E. (2021) Wine polyphenol content and Its influence on wine quality and properties: A review. *molecules*, 26(3):718.
- He, F., Mu, L., Yan, G. L., Liang, N. N., Pan, Q. H., Wang, J., & Reeves, M. J. (2019). Biosynthesis of anthocyanins and their regulation in colored grapes. *molecules*, 24(2): 7.
- He, J., & Giusti, M.M. (2012). Anthocyanins: Natural colorants with health-promoting properties. *Annual Review of Food Science and Technology*, 1(3): 163-187.

Iland, P., Bruer, N., Edwards, G., Weeks, S. & Wilkes, E. 2004. Chemical analysis of grapes and wine: techniques and concepts. Patrick Iland Wine Promotions PTY LTD. Campbelltown, 109 pp.

Jackson, R. S. (2020). Post Fermentation Treatments and Related Topics. Jackson (Ed.). Wine Science: Principles and Applications. Academic Press. (997 pp. 535-676)

Lee, J., & Skinkis, P.A. (2018). Impact of cluster thinning on pinot noir grape composition, phenolic content, and wine quality characteristics. *Foods*,7(1): 5.

McMurrough, I., Madigan, D., Donnelly, D., Hurley, J., Doyle, A. M., Hennigan, G., & Smyth, M. R. (1996). Control of ferulic acid and 4- vinyl guaiacol in brewing. *Journal of the Institute of Brewing*, 102(5): 327-332.

Lira Olivares, C. J. (2014). Efecto del pH sobre la interacción proantocianidina-proteína salival y su relación con la sensación de astringencia. Tesis licenciatura, Universidad de Santiago de Chile. Chile.

Peleg, H., & Noble, A.C. (1999). Effect of viscosity, temperature, and pH on astringency in Cranberry juice. *Food Quality Preference*, 10( 4-5): 345-34

Pérez, R.F. (2015). Identificación taxonómica y clonal de bacterias acéticas, y estudio del efecto de la nisina frente a biofilms de bacterias enológicas. Tesis de maestría. Universidad de La Rioja. España.

Pfahl, L. Catarino, S., Fontes, N., Graça, A., & Ricardo-da-Silva, J. Effect of Barrel-to-barrel variation on color and phenolic composition of a red wine. *foods* 10: 1669.

- Ribéreau-Gayon, P., Glories, Y., Maujean, A., & Dubourdieu, D. (2006). Handbook of Enology, Volume 2: The Chemistry of Wine - Stabilization and Treatments. John Wiley & Sons. 527 pp.
- Rinaldi, A., Jourdes, M., Teissedre, P. L., & Moio, L. (2019). Effect of climatic conditions, vineyard location, and enological practices on the tannin profile of Aglianico wines. *Food Chemistry*, 288: 255-263.
- Rodríguez-Delgado, M. A., González-Hernández, G., Conde, J. E., García-Montelongo, F. J., & Pérez-Trujillo, J. P. (2020). Influence of co-pigmentation on the color of red wines. *Food Chemistry*, 306: 125635.
- Rodríguez-Rodríguez, P., & Gómez-Plaza, E. (2012). Dependence of oak-related volatile compounds on the physicochemical characteristics of barrel-aged wines. *Food Technology and Biotechnology*, 50(1): 59.
- Sebert, K.J., & Chassy, A.W. (2004). An alternative mechanism for the astringent sensation of acids. *Food Quality Preference*, 15(1): 1318.
- Smith, P. A., McRae, J. M., & Bindon, K. A. (2015). Impact of winemaking practices on the concentration and composition of tannins in red wine. *Australian Journal of Grape and Wine Research* 21: 601-614.
- Waterhouse, A. L., Sacks, G. L., & Jeffery, D. W. (2016). Introduction to Phenolics. Waterhouse (Ed.) *Understanding Wine Chemistry*. John Wiley & Sons. (525 pp. 108-112).
- Zar, J.H. (1974) *Biostatistical Analysis*. Prentice-Hall, Englewood Cliffs, 620p.

Zoecklein, B. W., Fugelsang, K. C., Gump, B. H., & Nury, F. S. (1995). Wine analysis and production. Chapman-Hall. New York. 296 pp.