Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo, A.C.

USO DE OLIGOSACÁRIDOS PÉCTICOS PARA MEJORAR EL COLOR DE UVAS Y CALDOS PARA VINIFICACIÓN DE CV. SYRAH

Por:

Sergio Sebastian Sandoval Silva

TESIS APROBADA POR LA

COORDINACIÓN DE TECNOLOGÍA DE ALIMENTOS DE ORIGEN VEGETAL

Como requisito parcial para obtener el grado de

MAESTRO EN CIENCIAS

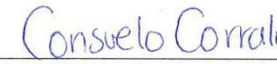
Hermosillo, Sonora Septiembre 2019

APROBACIÓN

Los miembros del comité designado para la revisión de la tesis de Sergio Sebastian Sandoval Silva, la han encontrado satisfactoria y recomiendan que se acepte como requisito parcial para obtener el grado de Maestro en Ciencias.

Dr. Miguel Angel Martínez Téllez
Director de Tesis

Dra. Irasema Vargas Arispuro
Integrante del comité de tesis



M.C. Consuelo Guadalupe Corrales Maldonado
Integrante del comité de tesis

M.C. Emmanuel Aispuro Hernández
Integrante del comité de tesis

DECLARACIÓN INSTITUCIONAL

La información generada en la tesis "Uso de Oligosacáridos Pécticos para Mejorar el Color de Uvas y Caldos para Vinificación de cv Syrah" es propiedad intelectual del Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo, A.C. (CIAD). Se permiten y agradecen las citas breves del material contenido en esta tesis sin permiso especial del autor Sergio Sebastian Sandoval Silva, siempre y cuando se dé crédito correspondiente. Para la reproducción parcial o total de la tesis con fines académicos, se deberá contar con la autorización escrita de quien ocupe la titularidad de la Dirección General del CIAD.

La publicación en comunicaciones científicas o de divulgación popular de los datos contenidos en esta tesis, deberá dar los créditos al CIAD, previa autorización escrita del manuscrito en cuestión del director(a) de tesis.

CENTRO DE INVESTIGACIÓN EN ALIMENTACIÓN Y DESARROLLO, A.C.
Coordinación de Programas Académicos

CIAD

Dr. Pablo Wong González
Director General

AGRADECIMIENTOS

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT), por el apoyo económico brindado durante la realización de este proyecto de investigación.

Al Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo, A.C. (CIAD), por darme la oportunidad de realizar mis estudios de maestría en ciencias.

Al Dr. Miguel Ángel Martínez Téllez por aceptarme como su asesorado y dirigir mi formación durante el desarrollo de este trabajo, por todos sus comentarios para mejorar, apoyo, asesoría y paciencia.

A la Dra. Irasema Vargas Arispuro por permitirme realizar los estudios con HPLC en el laboratorio de Ecología Química, así como su apoyo y sus recomendaciones para mejorar este trabajo.

A la M.C. Consuelo Guadalupe Corrales por formar parte de mi comité y por todo su apoyo técnico e instrucción durante la cuantificación de antocianinas por HPLC.

Al M.C. Emmanuel Aispuro Hernández por todo su apoyo a lo largo de este trabajo, su compañía y auxilio en las aplicaciones y la recolección de las uvas en Ures, su apoyo en los diferentes análisis realizados, su constante retroalimentación para hacer de este trabajo la mejor versión de sí, así como por sus ánimos y amistad. Seguramente sin ese gran respaldo mostrado, este trabajo y mi estadía este par de años hubiera sido muy diferente.

Al personal del laboratorio de Fisiología Vegetal, la QB. Blanca Briceño, aunque no decía mi nombre correctamente, por su apoyo con el equipo y materiales de laboratorio, y al QB. Francisco Soto por su apoyo tanto en los viajes de campo como en la obtención de los oligosacáridos.

También gracias al M.C. Jorge Mercado con el préstamo y apoyo con el equipo para la determinación de acidez titulable. Así mismo, gracias a todos los maestros involucrados en mi formación como investigador.

Y claro, los amigos que sorprendentemente pude hacer, que, si bien son pocos, hicieron mucho más ameno todo este trayecto. Luis, Alex, Ross, Clari, Nill y Perlette, MUCHAS GRACIAS.

DEDICATORIA

Para las personas más importantes en vida:

Mi madre, que siempre ha estado ahí derrochando cariño, cuidado e amor infinito; y mi padre, que me crio de la mejor manera posible llevándome a donde estoy ahorita. También para mis hermanas Marisol y Maribel, y mi gran amigo casi hermano Miguel, que, de más de una forma, me han hecho quien soy el día de hoy.

CONTENIDO

APROBACIÓN.....2
DECLARACIÓN INSTITUCIONAL.....3
AGRADECIMIENTOS.....4
DEDICATORIA.....5
CONTENIDO.....6
LISTA DE FIGURAS.....8
LISTA DE CUADROS.....10
RESUMEN.....11
ABSTRACT.....12
1. **INTRODUCCIÓN**.....13
2. ANTECEDENTES.....15
2.1. Impacto del Cambio Climático en la Viticultura.....15
2.2. Compuestos en la Uva y Características que le Confieren al Vino.....20
2.2.1. Importancia Organoléptica de Fenoles y Flavonoides.....21
2.2.2. Antocianinas y su Impacto en el Color del Vino.....23
2.2.3.Balance Acidez/Azúcares.....24
2.3. Estudios Realizados Para el Mejoramiento de la Calidad en los Vinos.....25
2.4. Potencial de los Oligosacáridos Pécticos (OPs) Para Mejorar la Calidad de los Vinos.....30
3. HIPÓTESIS.....32
4. OBJETIVOS.....33
4.1. Objetivo General.....33
4.2. Objetivos Particulares.....33
5. MATERIALES Y MÉTODOS.....34
5.1. Preparación de los Oligosacáridos Pécticos.....34
5.2. Ácido Abscísico.....35
5.3. Material Vegetal.....35
5.4. Aplicación de Tratamientos.....35
5.5. Monitoreo de variables, cosecha y elaboración de caldo para vinificación.....37
5.6. Análisis de Variables.....37
5.6.1. Color.....37
5.6.2. Cuantificación de Azúcares (Solidos Solubles Totales) y Acidez Titulable.....38
5.6.3. Índice de Madurez y Porcentaje de Alcohol Probable.....38
5.6.4. Cuantificación de Fenoles Totales.....39
5.6.5. Identificación de Antocianinas.....39
5.7. Diseño Experimental.....40

CONTENIDO (continuación)

6. RESULTADOS Y DISCUSIÓN 41
6.1. Color 41
6.1.1. Evolución del color de las bayas 41
6.1.2. Caldos para vinificación 44
6.2. Solidos Solubles Totales 45
6.3. Acidez Titulable 47
6.4. Índice de Madurez 49
6.5. Porcentaje de Alcohol Probable 50
6.6. Contenido de Fenoles Totales 52
6.7. Contenido de Antocianinas 54
7. CONCLUSIÓN 59
8. REFERENCIAS 60

LISTA DE FIGURAS

Figura		Página
1	Principales productores de vino en el mundo y México……...	16
2	Maduración óptima de la uva……	18
3	Maduración de la uva en climas cálidos……	18
4	Producción anual de vino a nivel mundial…….	19
5	Secciones principales en la uva…….	20
6	Producción de compuestos en el desarrollo de la uva……	21
7	Ruta de síntesis de compuestos fenólicos en *Vitis vinifera*……	22
8	Estructura base de flavonides y derivados…….	24
9	Unión de residuos de ácido α–D–galacturónico por enlaces α-1-4……	30
10	Cromatograma de mezcla de OPs de 2 a 20 GP obtenida por hidrólisis enzimática a partir de pectina comercial, evaluada por HPEAC-PAD……..	34
11	Efecto de la aplicación por aspersión de 1500 ppm de OPs y 120 ppm de ABA, en luminosidad de uvas cv. Syrah……	42
12	Efecto de la aplicación por aspersión de 1500 ppm de OPs y 120 ppm de ABA, en el color de uvas cv. Syrah……...	43
13	Efecto de la aplicación por aspersión de 1500 ppm de OPs y 120 ppm de ABA, en el color de los caldos para vinificación de uvas cv. Syrah……...	45
14	Efecto de la aplicación por aspersión de 1500 ppm de OPs y 120 ppm de ABA, en el contenido de azucares fermentables (SST) en uvas del cv. Syrah...	47
15	Efecto de la aplicación por aspersión de 1500 ppm de OPs y 120 ppm de ABA, en la acidez titulable de uvas del cv. Syrah……..	48
16	Efecto de la aplicación por aspersión de 1500 ppm de OPs y 120 ppm de ABA, en el Índice de Madurez en uvas cv. Syrah……..	50
17	Efecto de la aplicación por aspersión a uvas del cv. Syrah de 1500 ppm de OPs y 120 ppm de ABA, en el porcentaje de alcohol probable en uvas de 15 día después de la aplicación y caldos de 20 días después de la aplicación……..	51
18	Efecto de la aplicación por aspersión de 1500 ppm de OPs y 120 ppm de ABA, en el contenido de Fenoles Totales en la piel de uvas cv. Syrah……...	53
19	Efecto de la aplicación por aspersión de 1500 ppm de OPs y 120 ppm de ABA, en el contenido de Fenoles Totales, en los caldos resultantes de uvas cv. Syrah cosechadas al día 20……...	54

LISTA DE FIGURAS (Continuación)

Figura		Página
20	Efecto de la aplicación por aspersión de 1500 ppm de OPs y 120 ppm de ABA, en el contenido de antocianinas en uvas del cv. Syrah…….	56
21	Efecto de la aplicación por aspersión de 1500 ppm de OPs y 120 ppm de ABA, en el contenido de antocianinas en los caldos de uvas del cv. Syrah……	57

LISTA DE CUADROS

Cuadros		Página
1	Efectos en la calidad del vino debido al aumento en el pH causado por el aumento en las temperaturas…….	17
2	Estudios para el mejoramiento de parámetros de calidad de uva y vino……	27
3	Registro de temperaturas reportadas durante el periodo experimental en el municipio de Ures, Sonora……	36
4	Correlaciones entre fenoles y antocianinas, con respecto al color……..	58

RESUMEN

El aumento de las temperaturas como efecto del cambio climático afecta la coloración de las uvas para vino, al reducir la acumulación de antocianinas. Esto provoca un desequilibrio en los componentes de calidad de los caldos para vinificación, como el color y el contenido de sólidos solubles totales (SST). Se ha demostrado que los oligosacáridos pécticos (OPs) son elicitores biológicos que tienen el potencial de incrementar el contenido de antocianinas y por lo tanto el color en las uvas para mesa. El objetivo de este trabajo fue evaluar el efecto de OPs aplicados durante el envero, sobre los parámetros de color, contenido de antocianinas, fenoles, acidez y sólidos solubles totales durante la maduración de las bayas y en los caldos para vinificación del cv. Syrah. El trabajo experimental en el viñedo consistió en la aspersión directa a los racimos de: testigo (agua), OPs (1500 ppm) o ácido abscísico (ABA) (120 ppm). Los resultados muestran que la aplicación de OPs incrementó significativamente ($p < 0.05$) los parámetros de color (luminosidad y CIRG2) y los niveles de azúcares fermentables e índice de madurez de las bayas, sin presentar efecto significativo ($p > 0.05$) en su acidez, lo que permite adelantar la cosecha hasta en cinco días y obtener bayas con características adecuadas para la producción de caldos de buena calidad para vinificación. Además, a los caldos elaborados con las bayas tratadas, se les calculó un porcentaje de alcohol probable, resultante entre 10 a 12 %, valores que se encuentra dentro del rango ideal para una mejor percepción sensorial de los vinos. Se determinó que los caldos elaborados con uvas tratadas con OPs, tienen una mayor concentración de fenoles totales ($p < 0.05$), así como de las antocianinas, delfinidina, petunidina y malvidina. Lo anterior concuerda con el elevado nivel de Croma de los caldos elaborados con uvas tratadas con OPs, comparado con los demás tratamientos ($p < 0.05$), lo que se traduce en un color más intenso. Por lo anterior, se concluye que la aplicación de OPs durante el envero de uvas para vino del cv. Syrah, tiene la capacidad de inducir el color y la acumulación de azúcares fermentables de las bayas, produciendo caldos de buena calidad para vinificación, lo que podría contribuir a la reducción de los efectos negativos causados por el aumento en las temperaturas ambientales durante el desarrollo de las uvas.

Palabras claves: Antocianinas, cambio climático, elicitor, fenoles, azúcares fermentables.

ABSTRACT

The increase of temperatures as a result of climate change, affects the coloration of red wine grapes by reducing the accumulation of anthocyanins. This causes an imbalance in the quality components of the musts for wine making, such as the color and content of total soluble solids (SST). It has been shown that pectic oligosaccharides (OPs) are biological elicitors that have the potential to increase the anthocyanin content and therefore the color in table grapes. The objective of this work was to evaluate the effect of OPs the application during veraison, on the parameters of color, content of anthocyanins, phenols, acidity and total soluble solids during the ripening of berries and in the musts for vinification of the cv. Syrah. The experimental work in the vineyard consisted of the direct spraying to the clusters of water (testigo), OPs (1500 ppm) or abscisic acid (ABA) (120 ppm). Results showed that OPs application significantly increased ($p < 0.05$) the color parameters (brightness and CIRG2) and the levels of fermentable sugars and berries maturity index, without influencing significantly ($p > 0.05$) their acidity, which allows to shorten the time to harvest of berries up to five days with suitable characteristics for the production of good quality musts for winemaking. In addition, the theoretical calculation of alcohol content from musts of treated berries was between 10-12%, which falls within the ideal alcohol range for a better sensorial perception of wines. It was determined that musts made with OPs-treated grapes had a higher concentration of total phenols ($p < 0.05$) and the anthocyanins delphinidin, petunidin and malvidin. The above agrees with the high Chroma of musts made with grapes treated with OPs, compared with the other treatments ($p < 0.05$), which results in a more intense color. Therefore, it is concluded that OPs application during veraison of wine grapes cv. Syrah, has the ability to induce the color and the accumulation of fermentable sugars in berries, producing good quality musts for winemaking, which could contribute to reducing the negative effects caused by the increasing environmental temperatures during grape development.

Keywords: Anthocyanins, climate change, elicitor, phenols, fermentable sugars.

1. INTRODUCCIÓN

El aumento en la temperatura global a causa del cambio climático, se ha convertido en un importante factor a considerar para la industria vitivinícola, puesto que repercute directamente en la fenología de la baya y por lo tanto en la producción de vino. Entre los problemas que se le han atribuido a este fenómeno, está la disminución en la intensidad del color de las bayas y el aumento en el contenido de alcohol en los vinos tintos (Nicholas, 2015). Niveles por encima de los 14.5 grados de alcohol dificulta la percepción de ciertos aromas y sabores (Goldner et al., 2009). Por su parte, la alteración en el color se presenta por el efecto inhibitorio que tienen temperaturas superiores a los 30 °C sobre la producción de antocianinas, los pigmentos naturales de las uvas rojas (Sadras y Morán, 2012). Tales efectos repercuten en las características de la uva, que, a su vez, genera una reducción en la calidad de los vinos, lo que hace necesaria la búsqueda de alternativas que eviten estas afectaciones durante la maduración de las uvas para vinificación, en regiones con clima cálido.

Con el fin de mejorar el color de las uvas para vino, se ha recurrido a la aplicación de productos químicos, entre otras estrategias, aunque no siempre con efectos favorables (Villegas et al., 2016). Por otro lado, entre las tecnologías que se ha propuesto que pueden combatir esta problemática, está el uso de elicitores biológicos. Estos son compuestos que estimulan la producción de metabolitos secundarios, como lo son las antocianinas, los cuales están relacionados principalmente con el mecanismo de defensa de las plantas (Zunin-Pérez et al., 2017). Dentro de los elicitores, los oligosacáridos pécticos (OPs), son compuestos derivados de pectina, los cuales han demostrado que incrementan compuestos del metabolismo secundario, como antocianinas, en uvas de mesa Flame Seedless y para vinificación Cabernet Sauvignon (Castañeda, 2010; Ochoa-Villareal et al., 2011). El aumento de color inducido por los OPs, se atribuye a que actúan incrementando la expresión del gen que codifica para fenilalanina amonio liasa (*PAL*), la cual, es una enzima que interviene en la ruta de los fenilpropanoides y, por ende, en la producción de antocianinas (Castañeda, 2010).

En la uva, el envero es el punto crucial de maduración que da inicio a la producción de diversos compuestos organolépticos y se observa físicamente el cambio de coloración en las bayas (González-Barreiro et al., 2015). Esta condición fisiológica indica que se activó la síntesis de

antocianinas en las bayas, por lo tanto, para que los elicitores cumplan con el efecto deseado, su aplicación debe realizarse al inicio de dicha etapa. Al realizar la aplicación del elicitor puede aumentar y acelerar la pigmentación de las bayas, de manera que, al realizar la cosecha, la uva alcanzará un equilibrio en el color y contenido de SST que favorezcan la calidad de los vinos. Por lo tanto, este trabajo tiene como objetivo evaluar el efecto elicitor de los oligosacáridos pécticos, aplicados en el envero de las uvas del cv. Syrah, y en la calidad del caldo para vinificación resultante, cuantificando los parámetros de color, acidez, azúcares totales, fenoles totales y contenido de antocianinas.

2. ANTECEDENTES

2.1. Impacto del Cambio Climático en la Viticultura

En la actualidad, el consumo de vino se ha generalizado y con ello los territorios vinícolas se han expandido a lo largo del mundo. Hoy por hoy, Europa cuenta con los principales países productores: Italia (48,5 mhl), Francia (46,4 mhl) y España (40,9 mhl); mientras que el continente americano cuenta con 3 de los 10 principales (Figura 1): Estados Unidos (23.9 mhl), Argentina (14.5 mhl) y Chile (12.9 mhl) (OIV, 2018). México aún se encuentra lejos de esta lista, no obstante, presentó un aumento del 8 % de la producción de vinos en los últimos 4 años, habiendo un plan de aumentar de 6,000 a 13,000 hectáreas para producción de vid para vino, esto sugiere la posibilidad de competir en el mercado global en un futuro cercano (CMV, 2017). Sin embargo, existe un factor que se ha convertido de consideración para la industria vitivinícola mundial y podría limitar a México en sus expectativas vinícolas: el cambio climático.

El cambio climático es un fenómeno que se caracteriza principalmente por aumentos en la temperatura territorial (calentamiento global), así como precipitaciones irregulares, entre otros efectos secundarios (Ashenfelter y Storchmann, 2016). Tales efectos impactan directamente en los diferentes sectores agrícolas, cambiando los patrones de cultivo ya establecidos, haciendo inestables regiones ya consolidados en la producción, y generando espacios aptos para cultivo, que antes no eran considerados como tal (Hannah et al., 2013). Estos cambios geográficos, para los territorios con temperaturas más altas de lo habitual, se traduce en suelos más secos, lo que genera el desarrollo inadecuado de diferentes variedades de plantas, lo que incrementa las pérdidas de cosechas (Altieri & Nicholls, 2009). En el caso de la vid, entre las principales consecuencias causadas por las altas temperaturas ocasionadas por el cambio climático, se ha observado cambios en los parámetros de calidad de las bayas, como el aumento en el contenido de azúcares, perdida de acidez y disminución de antocianinas (Martínez et al., 2016). Estos efectos repercuten directamente en las características organolépticas de los vinos (olor, color y sabor), lo que se traduce directamente en una disminución de la calidad de los mismos.

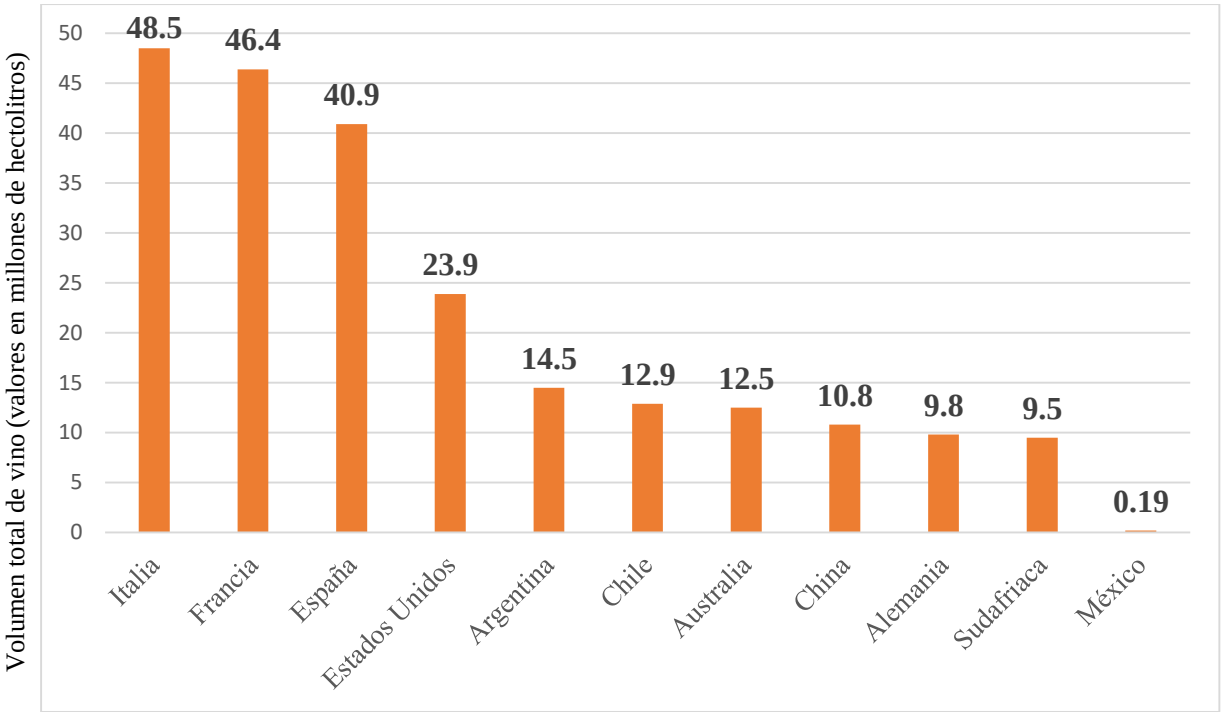


Figura 1. Principales productores de vino en el mundo y México. Elaboración propia con datos de OIV, (2018) y CMV, (2017).

El aumento en el contenido de azúcares en las bayas se traduce en un vino de mayor contenido alcohólico (Nicholas, 2015). El exceso de alcohol trae consigo diversos efectos negativos, siendo el principal de estos, el enmascaramiento de compuestos relacionados al sabor y aroma del vino (Dequin et al., 2017), ya que influye directamente en las tendencias del consumidor. Inclusive, se ha observado que un elevado contenido de azúcares puede dificultar el proceso fermentativo en la producción del vino, ya que se genera una mayor presión osmótica sobre las levaduras utilizadas, dificultando el proceso metabólico, y resulta en periodos fermentativos más largos (Martínez et al., 2016). Es importante agregar, que, en muchos casos, el mayor contenido de alcohol tiene afectaciones económicas para el productor, esto a consecuencia de impuestos especiales que varios países imponen en relación al volumen alcohólico en bebidas.

En el caso de la acidez, cuando esta se ve disminuida por las altas temperaturas, provoca repercusiones directas en el sabor de los vinos (Nicholas, 2015). En estudios recientes realizados en viñedos españoles y franceses, se ha encontrado que los cambios en las temperaturas aumentaron entre 0.3 y 0.4 unidades el pH de los vinos (Martínez et al., 2016); normalmente, el rango de pH

para los vinos va de 2.8 a 4.0 (Ribéreau-Gayon et al., 2006). Además, estos aumentos en el pH favorecen el crecimiento microbiano, lo que causa problemas en el proceso fermentativo del vino, y, por ende, resulta en daños organolépticos. En la Tabla 1, se enlistan los efectos causados por el aumento del pH.

Efectos del aumento en el pH	Aumento de reacciones oxidativas y microbiológicas
	Enmascaramiento de olores
	Menor estabilidad de compuestos generadores de color
	Actividad del complejo enzimático: reacciones oxidativas
	Desnaturalización de proteínas
	Dificultad en clarificación y limpieza del vino
	Deterioro del sabor de los vino

Tabla 1. Efectos en la calidad del vino debido al aumento en el pH causado por el aumento en las temperaturas (Martínez et al., 2016).

Como se mencionó, el aumento en las temperaturas inhibe la síntesis de compuestos que le brindan al vino sus características organolépticas. Particularmente, los compuestos fenólicos que aportan estas características son compuestos fenólicos, como antocianinas y taninos (Nicholas, 2015). Las antocianinas son los pigmentos responsables de conferirle el color a las uvas tintas y, por lo tanto, a los vinos; cuando las temperaturas sobrepasan los 30 °C, estos se ven inhibidos, resultando en vinos carentes de color. (García et al., 2014). Por su parte, los taninos son compuestos que les confieren textura a los vinos, así como su característico sabor astringente; el aumento de la temperatura reduce la formación de estos compuestos, provocando un desequilibrio en el sabor (Nicholas, 2015).

En situaciones ideales, la vendimia de la baya se realiza cuando el sabor y color están en equilibrio con los niveles de azúcar y acidez (Figura 2). Sin embargo, en condiciones de altas temperaturas, se genera un desequilibrio entre estos parámetros (Nicholas, 2015). Este problema genera en el productor la siguiente disyuntiva: cosechar cuando el equilibrio entre azúcares y acidez sea el ideal,

a sabiendas que el color y el sabor del vino no serán los óptimos; o recolectar cuando el color es el adecuado, a costa de tener un vino de alto grado alcohólico, así como una carencia en acidez. En la Figura 3 se ejemplifica esta problemática.

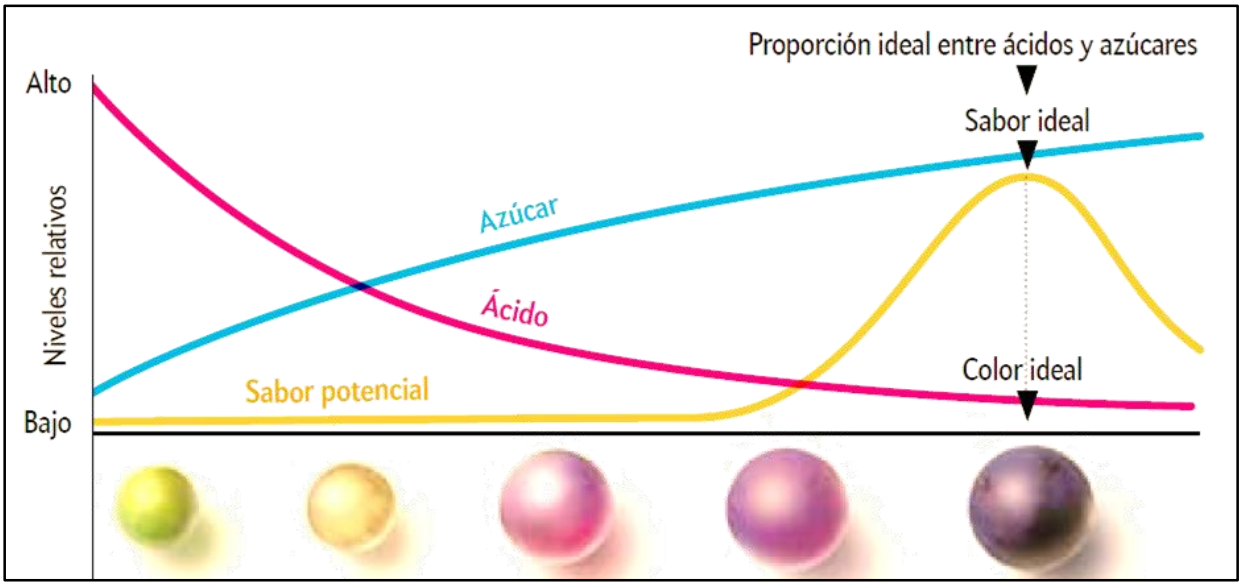


Figura 2**.** Maduración óptima de la uva (Nicholas, 2015).

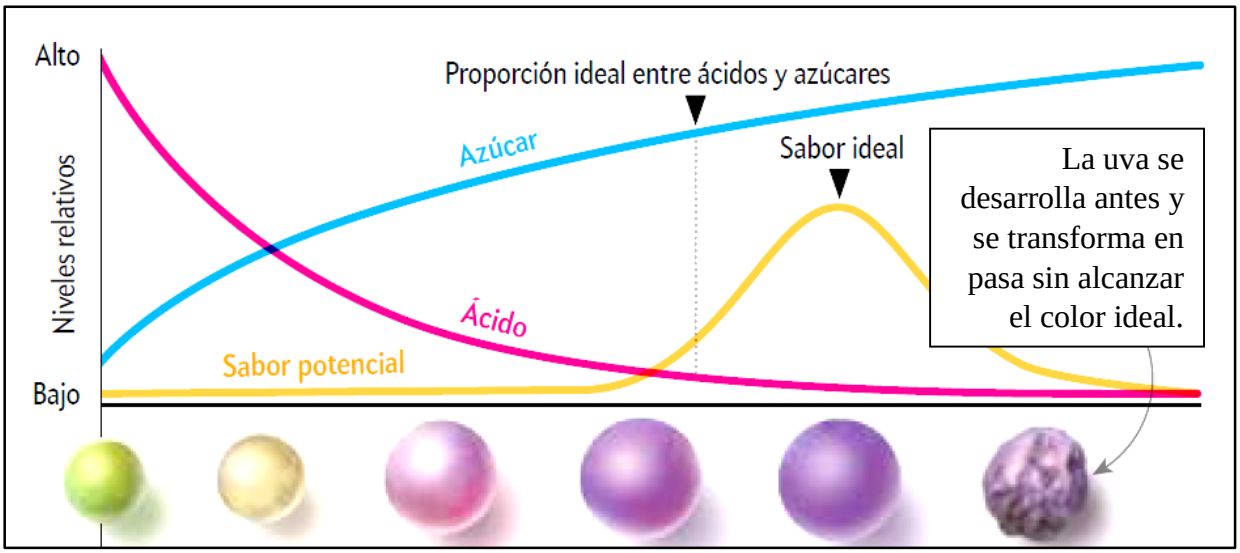


Figura 3. Maduración de la uva en climas cálidos (Nicholas, 2015).

De acuerdo a los pronósticos climatológico, se espera que la temperatura ambiental continúe en aumento, por lo tanto, las regiones vinícolas se verán cada vez más limitadas en la producción total. Según datos oficiales de la Organización Internacional de la Viña y el Vino (2018), se estimó que para el año 2017, la elaboración de vino a nivel mundial disminuyó a consecuencia del cambio climático, con un total de 251 mhl, 8 % menos que lo registrado en el año 2016 y la menor cantidad en lo que va en el siglo (Figura 4). Un estudio realizado por Hannah et al., (2013) estimó que gran parte de las regiones productoras de vino en el mundo, para el año 2050, ya no serán aptas para realizar esta práctica. En el caso de México, en un estudio similar, se encontró que, para estas mismas fechas, las mejores regiones vinícolas mexicanas, se convertirán en áreas no aptas para la elaboración de vino (Valenzuela-Solano et al., 2014). En contraparte, nuevos territorios contaran con las condiciones óptimas para desarrollar la vinicultura, sugiriendo la migración de la industria a estos lugares. Sin embargo, es necesaria la búsqueda de otras alternativas, ya que esta solución no considera factores económicos, o el efecto que los nuevos suelos tendrán en la composición de la uva.

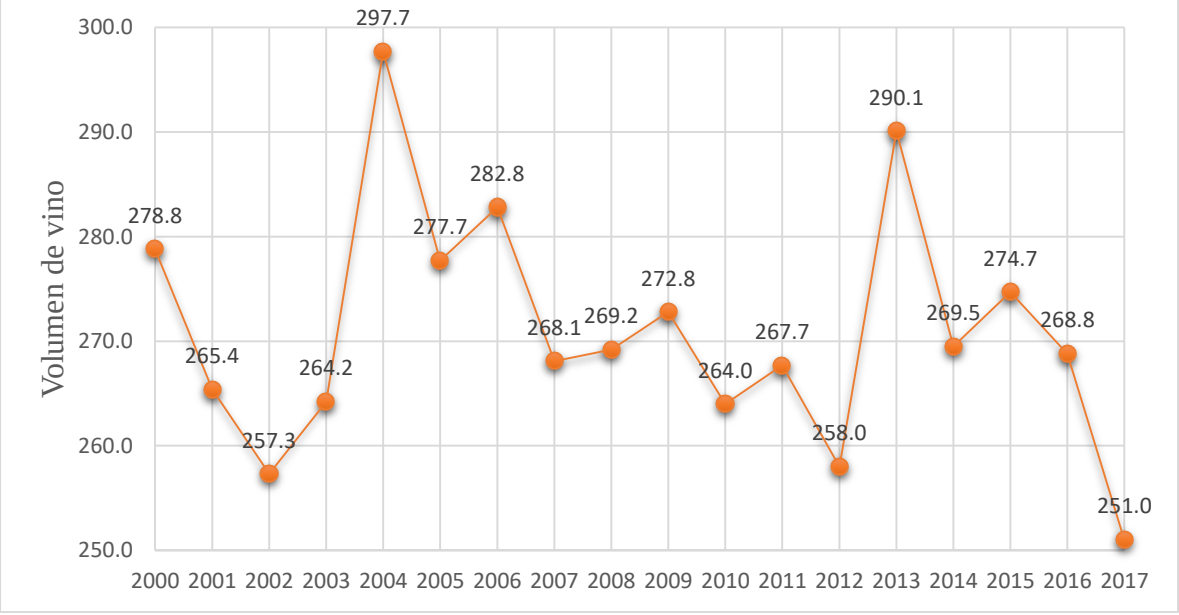


Figura 4. Producción anual de vino a nivel mundial (valores en millones de hectolitros) (Organización Internacional de la Viña y el Vino, 2018).

2.2. Compuestos en la Uva y Características que le Confieren al Vino

Son cientos los compuestos presentes en el vino, la mayoría en muy bajas concentraciones, pero todos juegan un papel muy importante en las características organolépticas y de calidad de esta bebida (García-Guzmán et al., 2015). Gran parte de estos compuestos se forman previamente a la fermentación del mosto, es decir, se encuentran en la uva antes de ser procesada (Conde et al., 2007). Son tres los tejidos de la baya donde estos compuestos están presentes: semilla, pulpa y piel (Figura 5). La composición de cada tejido difiere entre las variedades de uva y presenta cambios conforme ésta se va desarrollando.

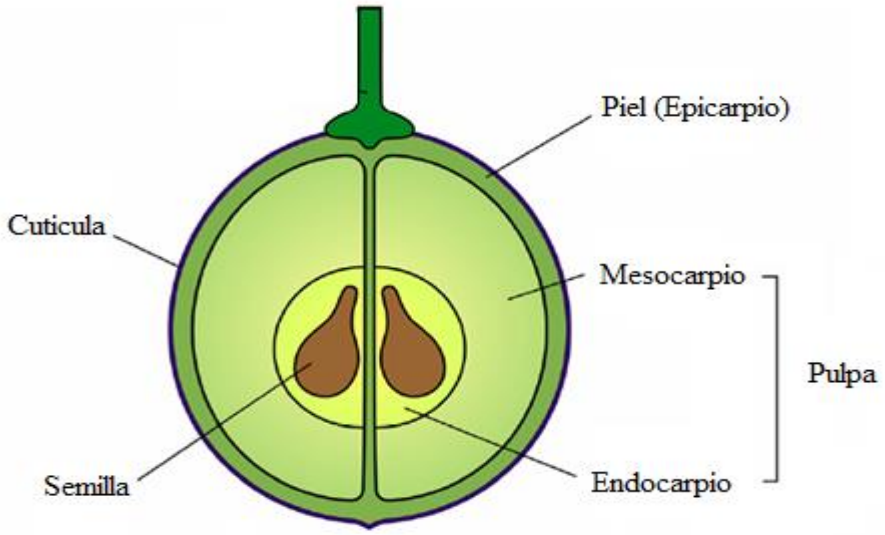


Figura 5. Secciones principales en la uva (Conde et al., 2007).

El desarrollo de la uva consta de 2 periodos de crecimiento separados por una fase de retraso o "lag": formación de la baya y maduración de la baya (González-Barreiro et al., 2015). La primera etapa tiene una duración aproximada de 60 días, iniciando con la floración, y finalizando con la formación de la baya y producción de los embriones de las semillas. En la segunda etapa se observa un crecimiento significativo de la baya, así como el desarrollo de su color característico. El inicio de esta etapa se le conoce como envero, y a partir de aquí, se considera son producidos los compuestos organolépticos más importantes conferidos al vino. En la Figura 6 se observa la

aparición de algunos de los compuestos más relevantes en el vino, en relación a la maduración de la baya.

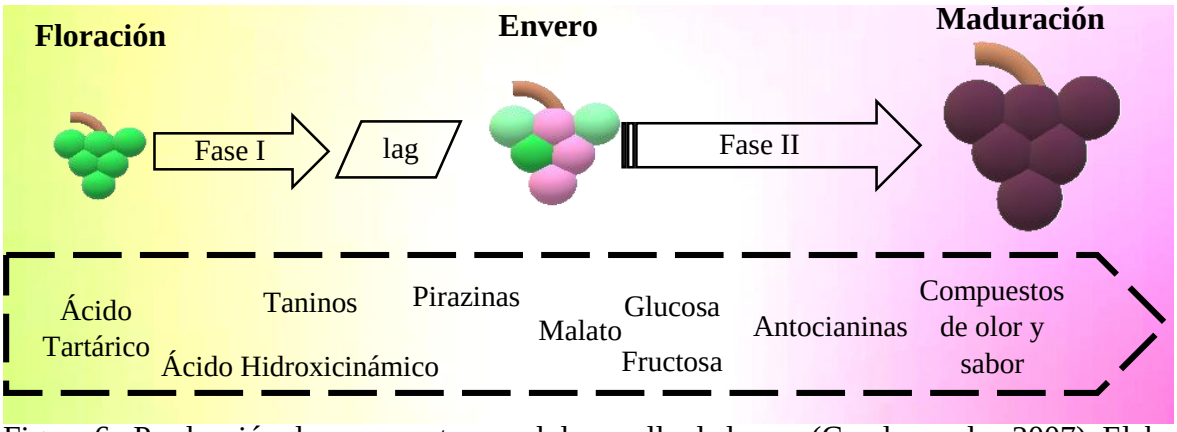


Figura 6. Producción de compuestos en el desarrollo de la uva (Conde y cols., 2007). Elaboración propia.

2.2.1. Importancia Organoléptica de Fenoles y Flavonoides

Los compuestos fenólicos conforman un grupo con gran variabilidad de estructuras, donde su principal característica es la existencia de uno o más anillos de benceno, así como uno o más grupos hidroxilo (García et al., 2015). Los fenoles, como también son conocidos, están divididos estructuralmente en dos clases: flavonoides y no flavonoides. En las uvas, ambas clases se encuentran distribuidos en los distintos tejidos e intervienen en el desarrollo y reproducción de la planta. Muchos de ellos, son producidos por el metabolismo secundario a manera de defensa contra estrés causado por organismos patógenos, depredadores, y radiación ultravioleta (Suvanto et al., 2017).

La síntesis de compuestos fenólicos surge con el estímulo de la enzima PAL a causa del estrés ya mencionado. Esta enzima transforma a L-fenilalanina, metabolito proveniente de la ruta del shikimato, en ácido cinámico (Heleno et al., 2015), el cual, a partir de diversas reacciones, fungirá como precursor de los demás compuestos fenólicos presentes en la uva (Figura 7). Entre estos, los flavonoides son de mayor relevancia en el vino, ya que su presencia está directamente relacionada

con la calidad del producto, respecto a sus características sensoriales (Martelo-Vidal y Vázquez, 2014). Antocianinas, taninos, flavonoles y flavanoles son los principales componentes de esta clase, los cuales comparten como característica en común el tener dos anillos bencénicos unidos por una cadena de tres átomos de carbono ciclada y oxigenada (Figura 7).

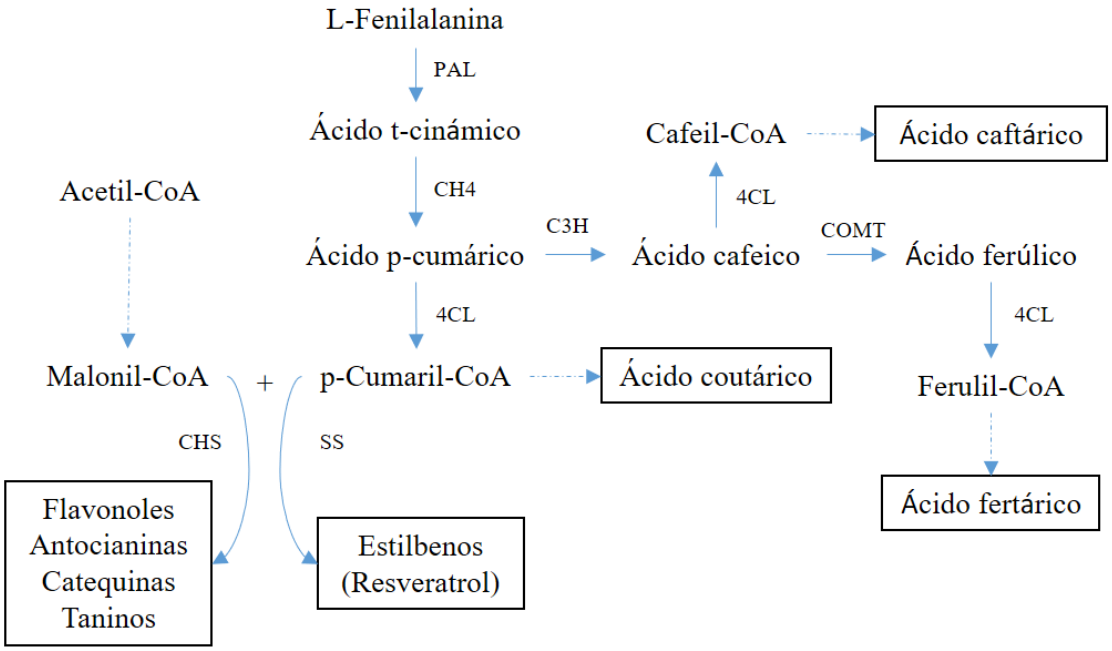


Figura 7**.** Ruta de síntesis de compuestos fenólicos en *Vitis Vinifera* (PAL, fenilalanina amonio liasa; C4H, cinamato-4-hidroxilasa; C3H, cumarato-3-hidroxilasa; 4CL, 4-hidroxicinimato:CoA ligasa; COMT, ácido cafeico O-metiltransferasa; SS, estilbeno sintasa; CHS, chalcona sintasa) (Conde et al., 2007).

Entre los flavonoles, los principales compuestos que se encuentran en las uvas son: quercetina, kaempferol y miricetina en sus formas glicosiladas, los cuales se encuentran en la piel de la baya, están relacionados al color y son dependiente a la exposición del fruto a la luz (Castañeda-Vázquez, 2010). Por su parte, los flavanoles principales son catequina y epicatequina, presentes tanto en semilla, como en piel y pulpa, los cuales proporcionan notas amargas al vino y son precursores de los taninos (Conde et al., 2007). En la vid pueden encontrarse dos tipos de taninos: hidrolizados, constan de la unión de ácidos fenólicos (ácidos gálico y elágico, principalmente) y glucosa; y condensados, también llamados proantocianidinas, resultantes de la múltiple polimerización de

flavan-3-oles (Vázquez-Flores et al., 2012). Dentro de este grupo, los principales en uvas y vinos son: prodelfinidina, compuesta por sub unidades de (2,3-trans) (+)-galocatequina y (2,3-cis)-(−)-epigalocatequina; y procianidina, compuesta por subunidades de (2,3-trans)-(+)-catequina and (2,3-cis)-(−)-epicatequina (Rousserie et al., 2019). Dichos compuestos se encuentran principalmente en la semilla y piel de las uvas, cuya importancia radica como precursores de sabores, especialmente de la astringencia característica de los vinos (Conde et al., 2007).

2.2.2. Antocianinas y su Impacto en el Color del Vino

El color es una de las características más importantes de un buen vino, siendo un factor que influirá en la toma de decisión del consumidor. Como ya se ha mencionado, las antocianinas son los compuestos mayormente relacionados con brindar ésta característica, y la concentración en la que estén presentes, influirá en la intensidad y tonalidad. Las antocianinas o antocianos, son flavonoides glicosilados que tienen la característica de contar con un catión flavilio, responsable del color rojo en los vinos (Figura 8) (Bimpilas et al., 2016). La producción de éstos compuestos, se inicia con el envero de la uva, y son indicadores de la maduración ideal del fruto. Además, la presencia de los antocianos está fuertemente influenciada por las temperaturas; por arriba de los 30 °C la síntesis de estos se ve inhibida, lo que afecta directamente la maduración y vendimia de la uva (García et al., 2014).

Las antocianinas encontradas en el epicarpio de las bayas son: delfinidina, cianidina, petunidina, peonidina, y malvidina, de las cuales esta última es la que generalmente se encuentra en mayor concentración y, por lo tanto, de mayor relevancia en la pigmentación (de Andrade et al., 2013). Cabe agregar, que además de las antocianinas libres en el vino, la interacción que estas tengan con otros fenoles influirá en la brillantez del vino, a este fenómeno se le conoce como copigmentación (García-Marino et al., 2013; Bimpilas et al., 2016). Los compuestos fenólicos que fungen como cofactores en la pigmentación son flavonoles, flavanoles y ácidos hidroxicinámicos, como los ácidos p-cumárico y cafeico, entre otros. Además de lo ya mencionado, el pH influye fuertemente en las antocianinas y, por ende, en el color; a pH bajo, el color del vino incrementará, en cambio, a pH alto resultará en antocianos carentes de color (Sen y Tokatli, 2016).

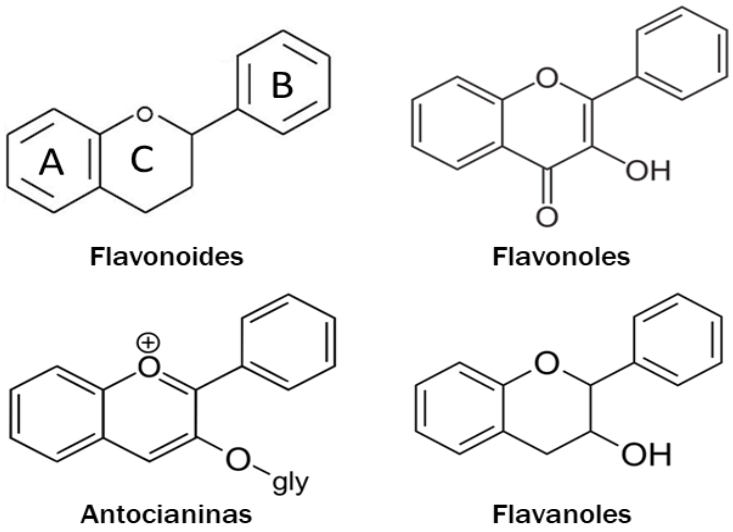


Figura 8. Estructura base de flavonides y derivados.

2.2.3. Balance Acidez/Azúcares

El nivel de acidez y contenido de azúcares en la uva cosechada tiene un efecto directo en el vino. Cuando la acidez de la baya es insuficiente, se genera un vino con poco sabor (insípido), por otro lado, un exceso de acidez producirá un vino con sabores agrios (Bakker y Clarke, 2011). Además de las consecuencias organolépticas, un fruto altamente ácido, genera que se lleven a cabo reacciones microbiológicas indeseadas durante la fermentación que afectan el vino. Los principales ácidos presentes en la uva son el ácido tartárico, ácido málico y, en menor medida, ácido cítrico; la concentración de éstos, junto a los ácidos producidos durante la fermentación, determinarán la acidez del vino. El pH es la escala usualmente utilizada para representar la acidez de alguna sustancia, que, en el caso del vino, el pH ideal debe ser entre 2.8 y 4.0 unidades (Bakker y Clarke, 2011).

En el caso del contenido de azúcar, éste representa entre un 15-25 % del contenido total de la uva, de la cual glucosa y fructosa son las que se encuentran en mayor proporción (Bakker y Clarke, 2011). En el proceso de fermentación, la mayoría de azúcares presentes en el mosto serán transformadas en alcohol, dejando al resto como responsable del sabor dulce del producto final. Se estima que por cada 18 g de azúcar /L en el mosto, el contenido alcohólico del vino aumentará 1%, aproximadamente. Entre mayor sea el porcentaje de alcohol, más se verá afectada la percepción de

aromas y sabores (Frost et al., 2015), aumentándole importancia al contenido de azúcar como factor de interés para la industria vinícola, como se ha mencionado a lo largo de este trabajo. Sin lugar a duda, todos los componentes presentes en la uva tienen repercusiones en el producto final, y con vistas al futuro, es cada vez más necesario un método que asegure el balance de todos ellos, y procure procurar una buena calidad del vino.

2.3. Estudios Realizados Para el Mejoramiento de la Calidad en los Vinos

De cara a las problemáticas previstas, se hace más relevante la tecnología aplicada en la industria vinícola con fin de mantener y mejorar la calidad de los vinos. Sin embargo, estas aplicaciones tienden a contemplar los parámetros por separado y no como un conjunto, es decir, se trata contenidos de azúcares y fenoles como factores aislados (Tabla 2). Por lo mismo, gran parte de los estudios realizados se han enfocado casi exclusivamente en disminuir el contenido alcohólico de vinos mediante la disminución de azúcar en el procesamiento poscosecha, y no se contempla el mejoramiento de color o contenido de antocianinas.

Entre las investigaciones realizadas con el fin de obtener vino con bajo porcentaje de alcohol, la mayoría está centrada en la parte fermentativa del proceso. Contreras et al. (2015) evaluaron el comportamiento fermentativo de 48 especies de levaduras no-*Saccharomyces* a diferentes condiciones de aerobiosis, y encontraron a *Torulaspora delbrueckii* y *Zygosaccharomyces bailii* con los mejores resultados, al reducir respectivamente 1.5 y 2.0 % el contenido de alcohol, en comparación con la levadura tradicional. Además, se reporta un aumento en el contenido de ácidos totales, sin embargo, no presenta información del perfil fenólico o consecuencias organolépticas. Por otro lado, se ha visto que la combinación de levaduras no tradicionales con *Saccharomyces cerevisiae* en condiciones aerobias, puede reducir la producción de alcohol hasta en un 3.7 %, sin embargo, presenta una acidez inaceptable (Morales et al., 2015).

En vista de la incógnita que puede generar la modificación del proceso fermentativo, se han considerado alternativas “fáciles” para la obtención de un vino de bajo contenido de alcohol. Un ejemplo de esto es la adición de agua al vino, la cual ciertamente resulta efectiva, sin embargo, es considerada como una práctica ilícita por muchas regiones (Schelezki et al., 2018). Por otro lado,

Longo et al., (2018) realizaron la combinación de vinos elaborados a partir de uvas con distinta maduración en proporciones iguales, con fin de reducir el contenido de alcohol y evaluar el efecto sensorial que este método trae consigo. El producto obtenido en esta investigación arrojó valores de azúcar y acidez entre los reportados en los vinos base (aquellos utilizados en la mezcla), así también, se registraron ligeros cambios en la percepción sensorial, pero sin ser significativos. Estos cambios claramente se atribuyen a la mezcla resultante de compuestos fenólicos, sin embargo, tanto este estudio como los antes discutidos, no reportan efectos respecto al contenido de estos compuestos.

El Darra et al., (2016) compararon tres técnicas aplicadas en el mosto previo a la fermentación, con el fin de aumentar el contenido de fenoles presentes en el vino: campos de pulsos eléctricos (CPE), tratamiento con enzimas (TE) y termovinificación (TV). El fundamento de estos métodos se basa en el ataque o ruptura de la membrana celular, que permite la liberación de fenoles. La TV fue el tratamiento que generó mejores resultados en aumentar el contenido de fenoles y de color (32 y 62 % respectivamente), seguido de la técnica de CPE (18 y 56 %), y él TE (3 y 22 % respectivamente). En todos los casos el contenido de antocianos no incrementó significativamente, por lo que se atribuye al fenómeno de copigmentación como el responsable de este efecto. Pese a la efectividad de estos métodos, su principal desventaja radica en la dificultad para su implementación a nivel industrial.

Una alternativa que ha generado interés por su eficiencia en el aumento fenólico y sencillez de aplicarse en el campo, es el uso de elicitores (Portu et al., 2016), los cuales tienen la característica de estimular el metabolismo secundario de las plantas, correspondiente a las rutas por las que se sintetizan los distintos compuestos fenólicos. Con tal característica, de ser elicitor, se encuentra el ácido abscísico (ABA), el cual, en un estudio de Peppi et al., (2006), se comprobó que al aplicarse en envero aumenta la concentración de antocianinas en piel de uvas cv. Flame Seedless. Además, a concentraciones entre 75 y 300 ppm mejoraron los parámetros relacionados al color. Así mismo, Yamamoto et al., (2015) corroboró la eficacia de aplicar ABA a 400 ppm a bayas del cv. Isabel, al obtener jugos de uva con un mejor color y mayor acumulación de antocianinas, contra aquellos que no contaron con este tratamiento. A pesar de la efectividad que han presentado los elicitores en diversos frutos, es poca la información relacionada con su implementación en uvas para vinificación (Villegas et al., 2016). Por lo anterior, es importante generar conocimiento del uso de elicitores sobre parámetros de calidad en uvas para vino.

Nombre del estudio	Enfoque	Parámetro de calidad				Referencia
		Azúcar/Alcohol	Acidez	Fenoles	Percepción sensoriales	
The application of *non-Saccharomyces* yeast in fermentations with limited aeration as a strategy for the production of wine with reduced alcohol content.	Comparación del efecto en el contenido de alcohol por levaduras no-*Saccharomyces*.	Especies *T. delbrueckii* y *Z. bailii* disminuyen 1.5 y 2.0% el porcentaje alcohólico.	Aumento de ácido acético y ácido succínico.	NR	NR	Contreras y cols., 2015.
The impact of oxygen on the final alcohol content of wine fermented by a mixed starter culture.	Efecto de la combinación de levaduras en el contenido alcohólico.	Reducción alcohólica de 3.7% en condiciones aerobias.	Niveles inaceptables de acidez volátil.	NR	NR	Morales y cols., 2015.
Harvesting and blending options for lower alcohol wines: a sensory and chemical investigation.	Efecto de la combinación vinos provenientes de uvas con maduración distinta.	El porcentaje de alcohol fue menor respecto al vino de mayor maduración.	El contenido de ácidos fue más alto respecto al vino de mayor maduración.	NR	Ligeros cambios, no significativos. No reporta color.	Longo y cols., 2018.
The use of glucose oxidase and catalase for the enzymatic reduction of the potential ethanol content in wine.	Aplicación de enzimas para la reducción de alcohol potencial.	Disminución del 2% de alcohol.	Aumento excesivo de acidez.	NR	Alteración negativa de características organolépticas	Röcker y cols., 2016.

Tabla 2**.** Estudios para el mejoramiento de parámetros de calidad de uva y vino. (NR: No reporta, NS: No significativo).

Nombre del estudio	Enfoque	Parámetro de calidad				Referencia
		Azúcar/Alcohol	Acidez	Fenoles	Percepción sensoriales	
Comparison of consecutive harvests versus blending treatments to produce lower alcohol wines from Cabernet Sauvignon grapes: Impact on polysaccharide and tannin content and composition.	Impacto en la composición del vino, a consecuencia de la mezcla de vinos de maduración diferente y agua.	Obtención de vinos con menor grado alcohólico, tanto en las mezclas como en la adición de agua.	NS	Mayor contenido de taninos y antocianinas en vinos con mayor maduración. La combinación generó resultados no significativos.	Mejor color en vinos de mayor maduración.	Schelezki y cols., 2018.
Changes in polyphenol profiles and color composition of freshly fermented model wine due to pulsed electric field, enzymes and thermovinification pretreatments.	Efecto en perfil fenólico por tres métodos deferentes: campos de pulsos eléctricos (CPE), tratamiento con enzimas (TE) y termovinificación (TV).	NS	NS	Aumento de fenoles totales y flavonoles: TV: 32 y 92% CPE: 18 y 48% TE: 3 y 4%	Aumento de color: TV: 62% CPE: 56% TE: 22%	El Darra y cols., 2016.
Improvement of grape and wine phenolic content by foliar application to grapevine of three different elicitors: methyl jasmonate, chitosan, and yeast extract.	Comparación del efecto de diferentes elicitores aplicados en precosecha: metil jasmonato (MJ), quitosano (Q) y extracto de levadura (EL).	NS	MJ: Disminución de pH en vino. Q y EL: NS	MJ y EL: Aumento significativo de antocianinas en uva y vino. Q: NS	MJ: Aumenta intensidad de color en vino Q y EL: NS	Portu y cols., 2016.

Tabla 2. (Continuación).

Nombre del estudio	Enfoque	Parámetros de calidad				Referencia
		Azúcar/Alcohol	Acidez	Fenoles	Percepción sensoriales	
Abscisic Acid Application Timing and Concentration Affect Firmness, Pigmentation, and Color of Flame Seedless Grapes	Efecto de diferentes concentraciones de ABA sobre firmeza y color de uvas Flame Seedless.	NS	Menor acidez titulable.	Concentraciones de 150 y 300 ppm aumentaron contenido de antocianinas en piel.	Color aumento con aplicaciones desde 75 a 300 ppm de ABA.	Peppi et al., 2006.
Application of abscisic acid (S-ABA) to cv. Isabel grapes (Vitis vinifera × Vitis labrusca) for color improvement…	Efecto en color de jugos de uva cv. Isabel tratadas con ABA.	NS	Ligero aumento de pH en uvas.	Mayor acumulación de antocianinas en jugos de uvas tratadas con ABA.	Mejor color en jugos de uvas tratadas con ABA.	Yamamoto et al., 2015.
Pectin-derived oligosaccharides increase color and anthocyanin content in Flame Seedless grapes	Efecto de OPs sobre el color y antocianinas en uvas Flame Seedless.	NR	NR	Mayor contenido de antocianinas en uvas tratadas con 1500 ppm de OPs.	Aumento de índice de color CIRG en uvas tratadas con 1500 ppm de OPs.	Ochoa-Villarreal et al., 2011.
Exogenous application of pectin-derived oligosaccharides to grape berries modifies anthocyanin accumulation…	Efecto de OPs sobre uvas cv. Cabernet Sauvignon en contenido de antocianinas y expresión de genes.	NS	NS	Aumento significativo de antocianina mayoritaria (malvidina).	NR	Villegas et al., 2016.

Tabla 2. (Continuación).

2.4. Potencial de los Oligosacáridos Pécticos (OPs) Para Mejorar la Calidad de los Vinos

Partiendo de la idea del uso de compuestos inductores de respuestas para mejorar la calidad de los vinos, existe una clase de compuestos que han generado gran interés, los oligosacáridos pécticos (OPs), los cuales son derivados de pectina, uno de los componentes mayoritarios que conforman la pared celular de los vegetales, que alcanza hasta un 22 a 35 % del contenido celular (Ullah et al., 2013). Por si sola, las pectinas están implicadas en funciones importantes en la pared celular: porosidad de membrana, intercambio iónico, control de pH del medio, reconocimiento y defensa contra organismos patógenos. Los OPs son moléculas generalmente formadas de 3 a 20 residuos de ácido α-D-galacturónico unidos por enlaces α-1-4 (Figura 9), Estos fragmente pueden ser liberados de manera natural de la pared celular durante su degradación, por acción enzimática (Wang et al., 2016). De manera artificial, pueden ser extraídos a partir de hidrólisis ácida, o mediante enzimas, como glicosiltransferasas o poligalacturonasas (Courtois, 2009; Salazar Iribe y Gamboa de Buen, 2013). El hecho de provenir de fuentes naturales, lo define como un compuesto de uso seguro; su aislamiento se ha realizado a partir de vegetales como: manzana, remolacha, cítricos y aceituna (Wang et al., 2016).

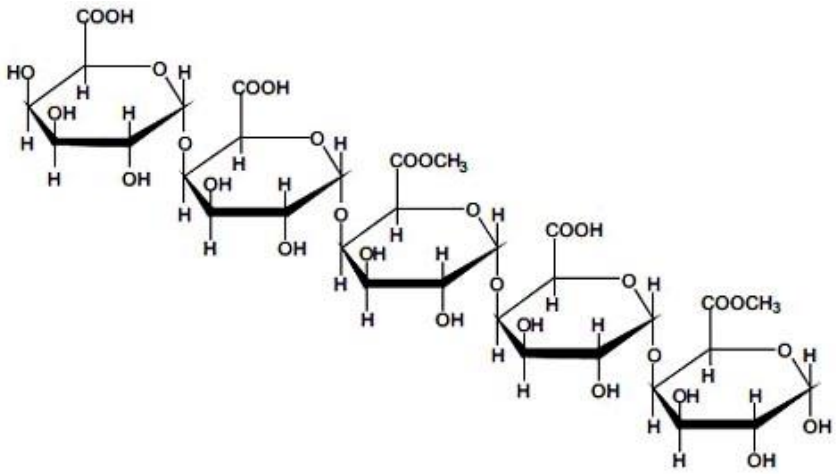


Figura 9. Unión de residuos de ácido α–D–galacturónico por enlaces α-1-4 (García Villegas et al., 2011).

La forma de funcionar de los elicitores es estimulando el metabolismo secundario de las plantas, el cual, activa el mecanismo de defensa de esta misma (Zunin-Pérez et al., 2017). Para llevar a cabo lo anterior, los OPs inducen la formación de una gran cantidad de especies reactivas de oxígeno (ERO), así como otras moléculas de señalización, las cuales, contribuirán a la inducción de genes biosintéticos de metabolitos secundarios (Vera-Guzmán et al., 2017). Esta cascada de señales tendrá como resultado la síntesis y actividad de la enzima fenilalanina ammonio lyasa (PAL), la cual da inicio a la ruta de los fenilpropanoides.

Se ha reportado, que, la aplicación de OPs en uvas de mesa cv. Flame Seedless durante el envero, genera un aumento significativo en el contenido de fenoles y antocianinas (Castañeda, 2010; Ochoa-Villarreal et al., 2011). Ochoa-Villarreal et al., (2011) encontraron que al aplicar OPs a una concentración de 1500 ppm, se induce la mayor síntesis de estos compuestos, y al mismo tiempo, e índice de color de la baya aumenta hasta un 30 %, respecto al control. En uvas para producción de vino cv. Cabernet Sauvignon, se encontraron resultados similares, corroborando la utilidad de los OPs como inductores de color en estos cultivares de vid (Villegas et al., 2016). Tanto Ochoa-Villarreal et al., (2011) como Villegas et al., (2016) concuerdan que el incremento en el contenido de antocianinas en las uvas, es debido al aumento en la expresión de *PAL*; ambos trabajos reportan que la aplicación de OPs no aumenta el pH ni contenido de azúcares de las bayas. Por otro lado, se ha visto que el uso de los derivados pécticos aumenta el rendimiento y mejora los aspectos de calidad de otros frutos, como el tomate y la caña de azúcar (Ullah et al., 2013).

Como se ha explicado, para considerar que la uva se encuentra en su estado óptimo de maduración, es necesario que alcance el equilibrio entre su contenido de azúcar, acidez y color, situación que no sucede en climas cálidos (Nicholas, 2015), y dado que los OP no afectan el contenido de azúcar ni la acidez en cultivares de uva ‘Flame Seedlees’ y ‘Cabernet Sauvignon’, pero si aumenta la producción de fenoles y antocianinas, la aplicación de estos compuestos durante el envero podría tener la capacidad de acelerar la coloración de la uva y generar un equilibrio entre los indicadores de maduración en otros cultivares de uva para vinificación. Por lo tanto, este trabajo tiene como objetivo analizar el efecto de la aplicación de los OPs en la maduración de las uvas cv. Syrah para producción de vino, así como el caldo para vinificación resultante de las mismas.

3. HIPÓTESIS

Los oligosacáridos pécticos asperjados al inicio del envero de las bayas de vid cv. Syrah, cultivadas en clima cálido, tienen la capacidad de incrementar la coloración en las bayas y mejorar el color de los caldos y el contenido de azúcares fermentables, factores determinantes en la calidad en los vinos tintos.

4. OBJETIVOS

4.1. Objetivo General

Evaluar el efecto elicitor de la aplicación de oligosacáridos pécticos (OPs) en el color y otros parámetros de calidad, de las bayas, cultivada en climas cálidos y caldos para vinificación del cv. Syrah.

4.2. Objetivos Particulares

- Evaluar el efecto de la aplicación de OPs en la coloración total, contenido de azúcares fermentables, acidez e índice de madurez de uvas para vino del cv. Syrah, durante la maduración de las bayas.

- Evaluar el efecto de los OPs, aplicados en precosecha, en los parámetros de color, contenido de azúcares fermentables y porcentaje alcohol probable, en los caldos para vinificación del cv. Syrah.

- Cuantificar el contenido de fenoles totales e identificar el perfil de antocianinas inducidos por los OPs en el epicarpio de las uvas tratadas, así como en los caldos para vinificación.

5. MATERIALES Y MÉTODOS

5.1.Preparación de los Oligosacáridos Pécticos

Para la obtención de los oligosacáridos pécticos se utilizó la técnica descrita por Ochoa-Villareal et al. (2011), utilizando pectina comercial, la cual se disolvió en agua (1:45) ajustando a pH 5. A continuación se le realizó una hidrólisis enzimática con pectinasa de *Aspergillus niger* a una temperatura de 23 °C por 3 h, para obtener la mezcla de oligosacáridos de 2-20 grados de polimerización (GP) y la reacción se detuvo en autoclave marca Market Forge sterilmatic 121 °C/15 min. La solución se secó utilizando un sistema de secado por atomización marca Yamamoto ADL311S, y la calidad del polvo seco se analizó mediante cromatografía de intercambio aniónico con detector de pulsos amperométricos (HPAEC-PAD) con columna PD-10 (Figura 10).

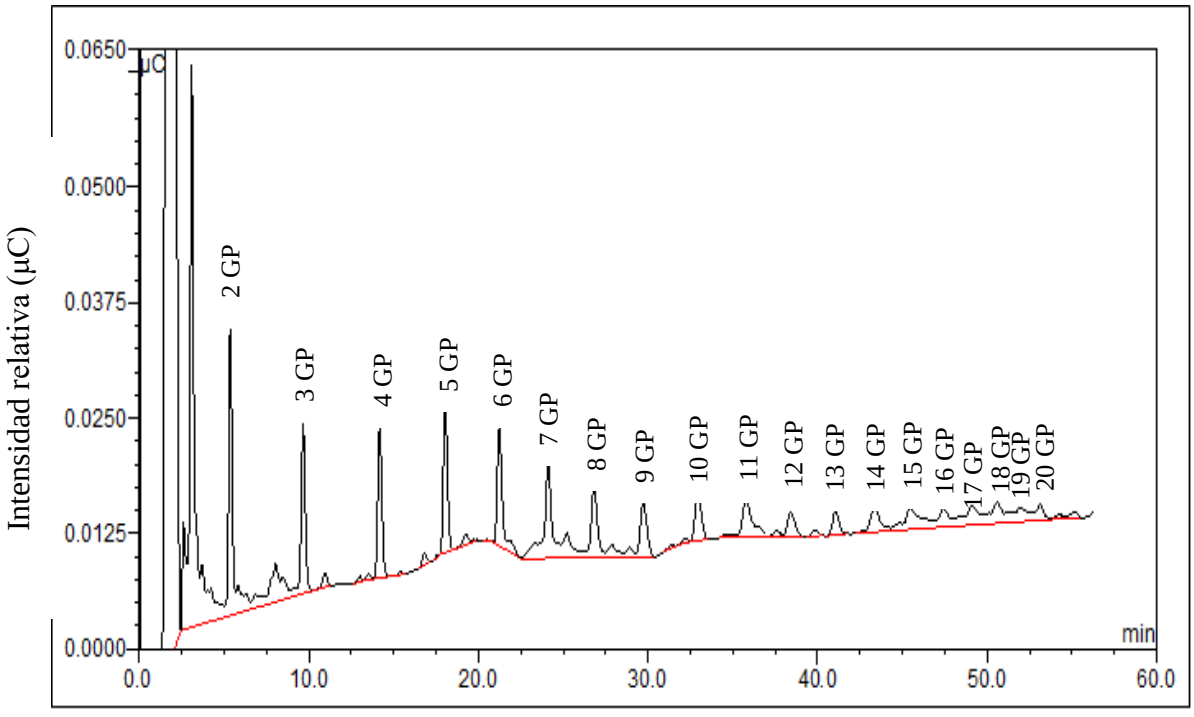


Figura 10. Cromatograma de mezcla de OPs de 2 a 20 GP obtenida por hidrólisis enzimática a partir de pectina comercial, evaluada por HPEAC-PAD.

5.2.Ácido Abscísico

El ácido abscísico fue adquirido de la casa comercial Valent Biosciences en una formulación de ABA al 20 % (ProTone®).

5.3.Material Vegetal

La aplicación de tratamientos se realizó en un viñedo ubicado en Guadalupe de Ures, Sonora (Latitud 29°23'56.1"N; Longitud 110°28'06.7"O) en los meses de junio y julio del año 2018, con una temperatura promedio de 30.84 °C (Tabla 3), utilizando seis plantas cv. Syrah de 15 años de edad para cada tratamiento, con un total de 18 plantas por experimento, cada una con un promedio de 60 racimos.

5.4. Aplicación de Tratamientos

Cada racimo en la etapa fisiológica de envero de las parras seleccionadas se asperjó de manera homogénea con 250 mL de la solución de OPs a 1500 ppm o con ABA (ProTone®) a 120 ppm. Adicionalmente, se utilizó agua destilada para tratar a los grupos testigo. Todas las soluciones incluyeron glicerol al 0.1% como adherente. La primera aplicación se consideró como hora 0, y se realizó una segunda aplicación 48 horas después, a cada grupo de racimos.

.

Día	Temperatura promedio	Temperatura máxima	Temperatura mínima
0	31.69	41.52	18.89
1	32.15	41.4	20.93
2	32.68	40.77	22.22
3	30.58	38.01	21.24
4	31.21	38.17	22.28
5	29.62	39.19	18.07
6	30.99	42.84	15.6
7	30.56	41.38	15.7
8	30.57	40.6	19.76
9	32.76	41.63	22.33
10	33.29	45.76	21.23
11	34.83	41.75	27.66
12	32.31	43.28	22.22
13	29.8	40.22	23.35
14	28.06	36.39	22.73
15	26.74	36.49	22.9
16	29.16	38.23	23.36
17	29.93	38.7	24.03
18	31.98	41.31	25.89
19	31.1	40.75	23.84
20	27.59	39.14	22.39
Promedio	30.84	40.36	21.74

Tabla 3. Registro de temperaturas reportadas durante el periodo experimental en el municipio de Ures, Sonora (Red de Estaciones Meteorológicas Automáticas de SONORA, 2019).

5.5.Monitoreo de variables, cosecha y elaboración de caldo para vinificación

Los racimos se enumeraron, y se muestrearon ocho de manera aleatoriamente a los 0, 5, 10, 15 y 20 días después de la aplicación de los tratamientos. El caldo para vinificación se obtuvo a partir del prensado de uvas maduras cosechadas al día 20 después de la primera aplicación de los tratamientos

5.6.Análisis de Variables

5.6.1. Color

El análisis de color se llevó a cabo mediante la técnica descrita por Ochoa-Villarreal et al., (2011) utilizando un colorímetro Minolta CR-300 sobre la piel de 30 bayas por racimo. Los valores de L* (luminosidad), a*, b*, °*hue* (ángulo de tono) y C* (croma) fueron empleados para calcular el Índice de Color para Uvas Rojas 2 (CIRG 2, por sus siglas en ingles). El índice CIRG 2 se obtiene mediante la siguiente fórmula propuesta por Rolle y Guidoni (2007):

$$CIRG2 = (180 - °hue)/(L^* + C^*)$$

donde:

$$C^* = \sqrt{a^{*2} + b^{*2}} \quad \text{y} \quad °hue = \text{atan}(b^*/a^*) \text{ x } (180/\pi)$$

En la medición de los caldos para vinificación, se utilizó un adaptador para líquidos en forma de copa. Además, en los caldos no se consideró el índice CIRG 2, ya que es exclusivo para uvas, en cambio los parámetros Luminosidad, Croma y °hue fueron los de interés para muestra líquida.

5.6.2. Cuantificación de Azúcares (Solidos Solubles Totales) y Acidez Titulable

El contenido de azúcares fermentables fue calculado en las bayas siguiendo la metodología propuesta por la Asociación Internacional de Química y Agricultura (AOAC, 1984), para determinar sólidos solubles totales. Se utilizó un refractómetro digital Atago PAL-1 (calibrado con agua destilada), y se registraron los resultados en °Brix. Se determinó el pH y la acidez titulable, siguiendo la metodología de Moreno et al., (2016), mediante un titulador automático METTLER DL21. Los resultados se expresaron en g de ácido tartárico / L, como ácido predominante.

5.6.3. Índice de Madurez y Porcentaje de Alcohol Probable

El índice de madurez fue calculado como la relación entre SST y AT (Moreno et al., 2016), como sigue manera:

$$IM = SST/AT$$

De igual manera, el porcentaje de alcohol probable (% AP) se determinó con la siguiente formula (Bakker y Clarke, 2011):

$$\%\, AP = (SST\ X\ 10)/18\ \frac{g\ de\ azúcar}{L}$$

5.6.4. Cuantificación de Fenoles Totales

La determinación del contenido de fenoles totales se realizó siguiendo la metodología descrita por Ochoa-Villarreal et al., (2011), donde, a partir de 1.5 gramos de epicarpio de uva, se le realizó la extracción de fenoles, agregando 4 mL de metanol grado reactivo al 80 % (Sigma-Aldrich). Posteriormente, la muestra fue homogeneizada durante 30 segundos con un homogeneizador de tejidos Ultra-Turrax T25, a continuación, el extracto se sonicó por un periodo de 30 minutos a temperatura ambiente en un sonicador Branson1520, para una posterior centrifugación a 23 400 g a 4 °C por 15 minutos. El residuo fue separado y se repitieron los pasos anteriores a partir de la adición del solvente, hasta que el extracto quedó totalmente incoloro. Al extracto se le calculó la concentración con base al peso inicial de la muestra (epicarpio de uva) dividido entre el volumen final del extracto, y se expresó en g/mL.

Para su análisis, se partió de 50 μL del extracto, al cual, se le añadieron 3 mL de H_2O destilada y 250 μL de reactivo Folin-Ciocalteu 1N (Sigma-Aldrich), con un reposo posterior de 5 minutos. A continuación, se añadieron 750 μL de Na_2CO_3 al 20 % y 950 μL de H_2O destilada, se agitó vigorosamente y, después de dejar reposar por 30 minutos, se realizó la lectura a una longitud de onda de 765 nm en un espectrofotómetro Shimadzu Modelo BioSpec-1601. Se realizó una curva de calibración de ácido gálico para evaluar el contenido de fenoles totales; los resultados se expresan como mg equivalentes de ácido gálico / 100 g de tejido fresco en bayas y mg equivalentes de ácido gálico / 100 g de caldo, en el caso de los caldos.

5.6.5. Identificación de Antocianinas

Para la determinación de antocianinas, se trituró 1 g de epicarpio de uva con N_2 líquido, al cual se le añadieron 10 mL de una solución de extracción que contenía metanol HCl 1% (v/v). El extracto se dejó en oscuridad por 12 horas con agitación constante. Posteriormente, se centrifugó a 23400 g por 10 min y se guardó a – 80 °C para su posterior análisis por cromatografía líquida de alta resolución (HPLC) con detector de arreglo de diodos. Para el estudio de HPLC se empleó una

columna de 4.6 x 100 mm, empacada con nucleosil C_{18}, con un tamaño de partícula de 3.5 µm. La fase móvil consistió en ácido fórmico al 10% (A) y acetonitrilo (B), con un gradiente escalonado de: 5 al 9% de B, 5 min; 9 al 11% de B, 10 min; 11 al 15% de B, 15 min; 15 al 20% de B, 25 min; y 20 al 30% de B, 30 min. La velocidad de flujo fue de 1 mL/ min, con una detección realizada a 520 nm, de acuerdo a la metodología de Ochoa-Villareal et al., (2011).

Para determinar las concentraciones se realizaron curvas de calibración con los compuestos puros de las 5 antocianinas representativas de los frutos rojos de uva (Delfinidina 3-glucósido, Cianidina 3-glucósido, Petunidina 3-glucósido, Peonidina 3-glucósido, Malvidina 3-glucósido), y los resultados se expresaron en µg / g de tejido fresco en el caso de las bayas, y µg / g caldo, para los caldos.

5.7. Diseño Experimental

Para evaluar el efecto de los tratamientos en la maduración de las uvas se empleó un diseño completamente al azar de una vía para cada punto en el tiempo, donde las variables de respuesta fueron color (Luminosidad y CIRG2), acidez y contenido de SST, fenoles y antocianinas. Para determinar el efecto de los tratamientos en la calidad de los caldos para vinificación, se realizó un diseño experimental completamente al azar de una vía, donde las variables de respuesta fueron los parámetros del color (Luminosidad, °Hue y Croma), % AP y contenido de fenoles y antocianinas. Se llevó a cabo un análisis de varianza con $p < 0.05$ utilizando el paquete estadístico NCSS 2011, así como una comparación de medias utilizando la prueba de rango múltiple de Tukey con $p < 0.05$.

6. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

6.1. Color

6.1.1. Evolución del color de las bayas

El color es una de las propiedades organolépticas más importantes para las uvas y sus respectivos vinos, ya que sirve como parámetro de selección para el consumidor al evaluar su calidad en primera instancia. Para la cuantificación de esta característica se utilizaron 2 parámetros: luminosidad e índice de color para uvas rojas 2 (CIRG 2, por sus siglas en ingles). Estos parámetros están basados en el sistema de color tridimensional utilizado por CIELAB (Commission International de l'Eclairage), donde luminosidad es el eje vertical con una escala del 0 al 100, indicando que tan claro (0) u oscuro (100) es el color descrito (Rolle y Guidoni, 2007). A diferencia del índice CIRG, regularmente usado para evaluar el color de las uvas rojas de mesa, CIRG 2 se describe como una variación que ha mostrado un mejor potencial para evaluar el color de las uvas para vinos tintos, principalmente por su alta correlación con los diferentes tipos de antocianinas (Rolle y Guidoni, 2007).

Como se muestra en la Figura 11, durante la maduración de las uvas, se observó una disminución periódica del parámetro luminosidad, es decir, las bayas se oscurecieron a lo largo del tiempo como era de esperarse. En los días 0, 5 y 10, no se registraron diferencias significativas ($p > 0.05$) por efecto de los tratamientos. Fue hasta los días 15 y 20 que se observó el efecto por tratamientos de manera significativa ($p < 0.05$), donde la prueba de comparación de medias, determinó que la aplicación de OPs, oscureció más las bayas con respecto a la aplicación de ABA, al presentarse valores de luminosidad más altos para este último que para OPs.

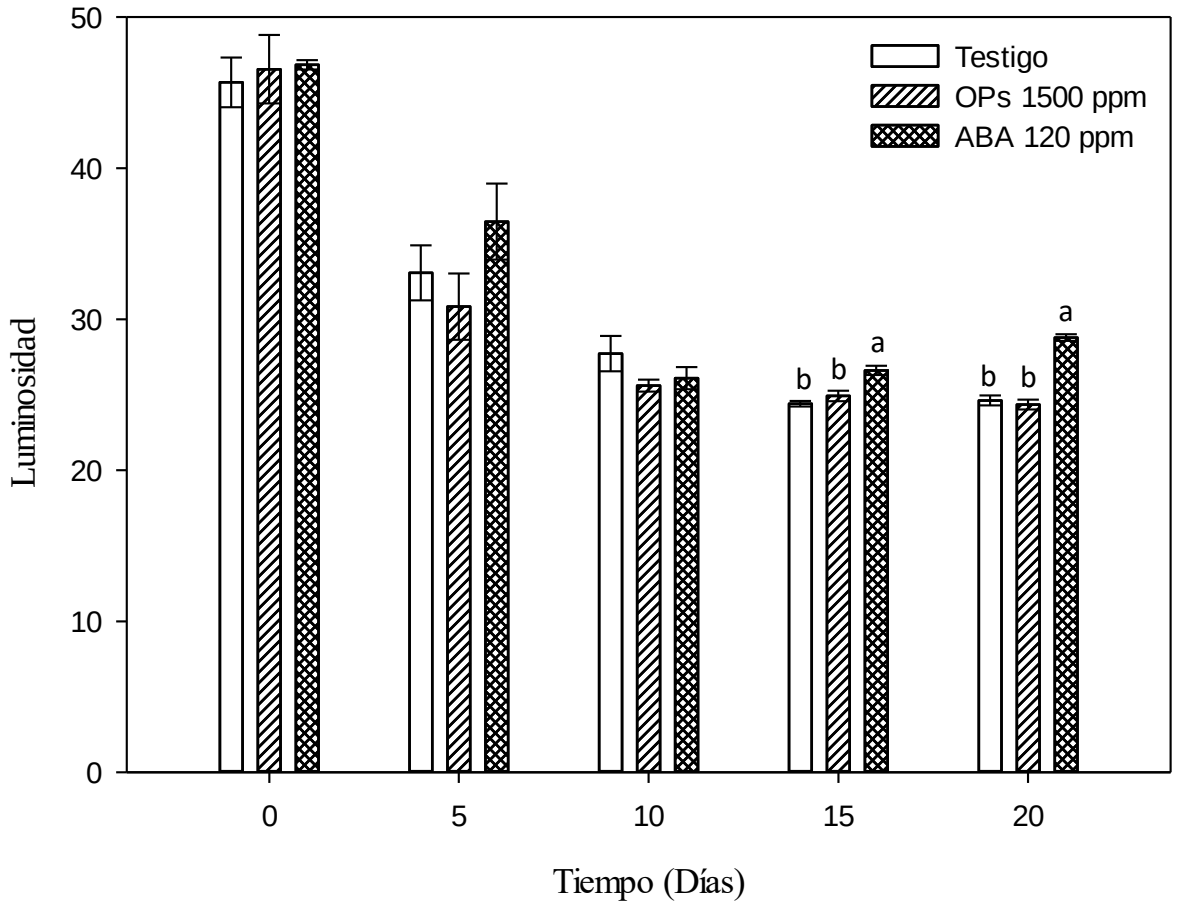


Figura 11. Efecto de la aplicación por aspersión (0 y 48 horas) de 1500 ppm de OPs y 120 ppm de ABA, en luminosidad de las bayas cv. Syrah. Literales diferentes indica diferencias significativas ($p < 0.05$) entre tratamientos. Valores igual a la media ± el error estándar, n = 8.

En el caso del índice de color CIRG 2, se observó un aumento constante del mismo a lo largo de la maduración de las bayas de cv. Syrah (Figura 12), y al igual que en el parámetro anterior, fue entre los días 15 y 20 donde resultaron diferencias significas ($p < 0.05$) en el color del epicarpio de las bayas por efecto de los tratamientos. Los OPs mostraron mayor capacidad de aumentar CIRG 2 ($p < 0.05$) en comparación ABA y el grupo testigo, las cuales fueron estadísticamente similares entre sí ($p > 0.05$). En el día 15 se observa que, para uvas cv. Syrah tratadas con OPs, CIRG 2 alcanzó sus valores máximos (9.94 ± 0.86), indicando que este elicitor, aumenta y acelerar la coloración de las bayas, lo que reduce el tiempo de cosecha. Además, sí se comparan estos resultados con el trabajo realizado por Rolle y Guidoni, (2007), donde se estudiaron 18 variedades de uvas para vinificación sin aplicación de ningún tratamiento, las uvas tratadas con OPs se encontrarían entre

las 4 con mayor CIRG2 reportado, solo superado por ‘Cabernet Sauvignon’ (12.41 ± 0.55), ‘Croatina’ (12.51 ± 0.61) y ‘Neretta Cuneese’ (13.65 ± 1.37). La importancia del GP radica en su actividad biológica, es decir, la capacidad de que estos oligosacáridos sean reconocidos por las plantas y produzcan el efecto biológico (Mederos Torres et al., 2016), que en este caso, es incrementar el color. Se ha comprobado que a mayore sea el GP, su actividad disminuye; por arriba de los 16 GP disminuye su movilidad en el apoplasto, reduciendo su capacidad de señalización celular (Acosta et al., 2018).

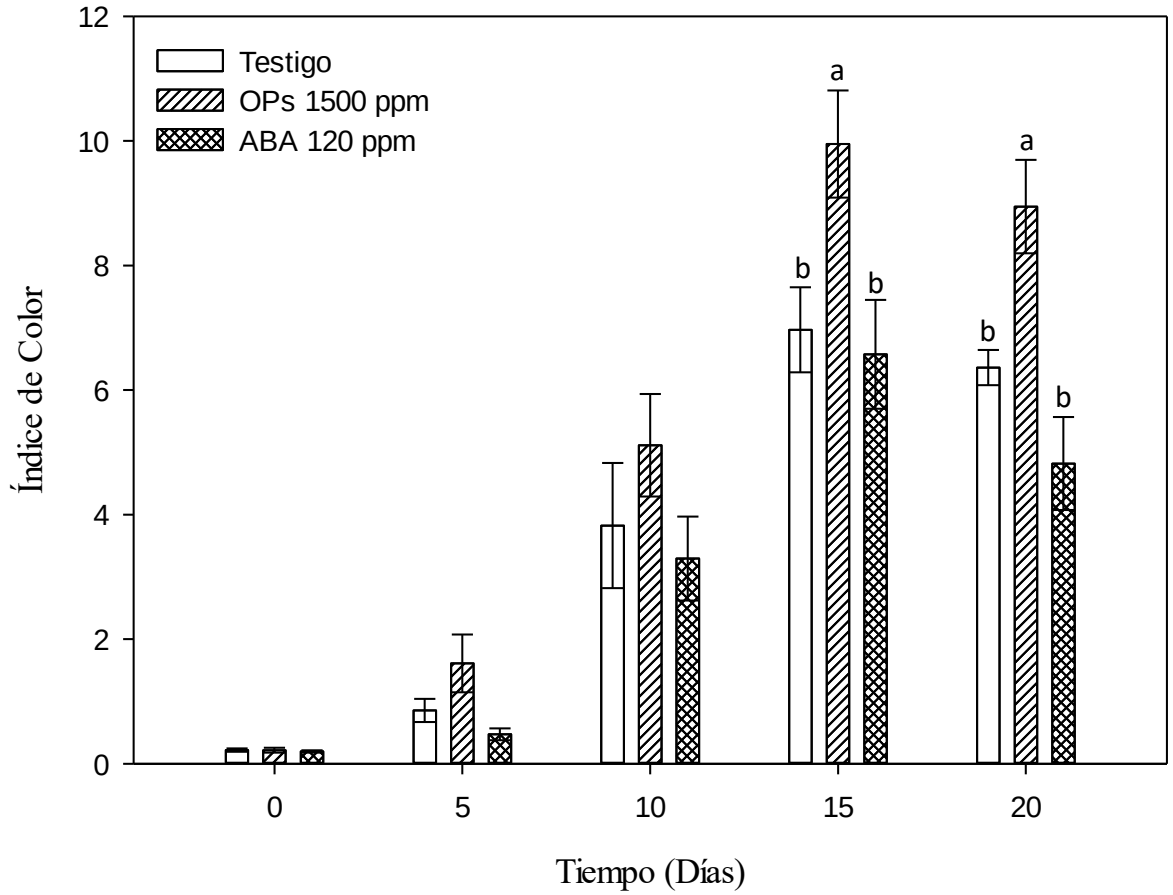


Figura 12**.** Efecto de la aplicación por aspersión (0 y 48 horas) de 1500 ppm de OPs y 120 ppm de ABA, en el color de uvas cv. Syrah. Literales diferentes indica diferencias significativas ($p < 0.05$) entre tratamientos. Valores igual a la media ± el error estándar, n = 8.

6.1.2. Caldos para vinificación

Para la elaboración de los caldos se utilizaron las uvas tratadas con OPs y cosechadas al día 20, cuando las bayas habían alcanzado un contenido de SST mayor a los 19 °Brix y una acidez de 4.0 g de ácido tartárico / L, valor mínimo recomendado por Norma Mexicana V-012-1986. A diferencia de las bayas, CIRG 2 no es aplicable para los caldos, o líquidos en general, por lo tanto, además de luminosidad, otros parámetros que se incluyeron para la cuantificación colorimétrica fueron: Croma y °hue. Ambos parámetros son determinados a partir de las coordenadas a* y b*, que indican los rangos de coloración rojo-verde y amarillo-azul, respectivamente, en el sistema de color tridimensional utilizado por CIELAB. Croma indica la saturación o intensidad con la que se está dando la coloración, mientras que, °hue, indica la tonalidad en una escala de 360°, es decir, el color del caldo (Casassa y Sari, 2006).

La luminosidad no varió significativamente entre los caldos para vinificación preparados a partir de los distintos grupos experimentales de uvas tratadas, sin embargo, se observó una ligera tendencia a obtener caldos más oscuros a partir de uvas tratadas con OPs (Figura 13). Por otro lado, para Croma el caldo que resultó con valor más alto ($p < 0.05$) fue el elaborado a partir de uvas tratadas con OPs, comparado con el testigo, pero resultó significativamente igual ($p > 0.05$) al caldo resultante de uvas que fueron tratadas con ABA; valores cercanos a 50 indican colores más intensos, sin embargo, los valores registrados indican una coloración más opaca en los caldos. El registrar valores de croma más elevados, indica mayor cantidad de compuestos fenólicos y antocianinas, lo cual se corroboró con sus estudios específicos, descritos más adelante. De igual manera, para °hue se observaron diferencias entre tratamientos ($p < 0.05$), donde los caldos de uvas testigo y OPs fueron estadísticamente iguales ($p > 0.05$), pero diferentes al caldo de bayas con aplicación de ABA ($p < 0.05$). Esta diferencia podría indicar proporciones variables en el contenido de antocianinas, sin embargo, son valores muy cercanos, que, a su vez, todos se encuentran en tonalidades rojas en la escala de color de CIELAB.

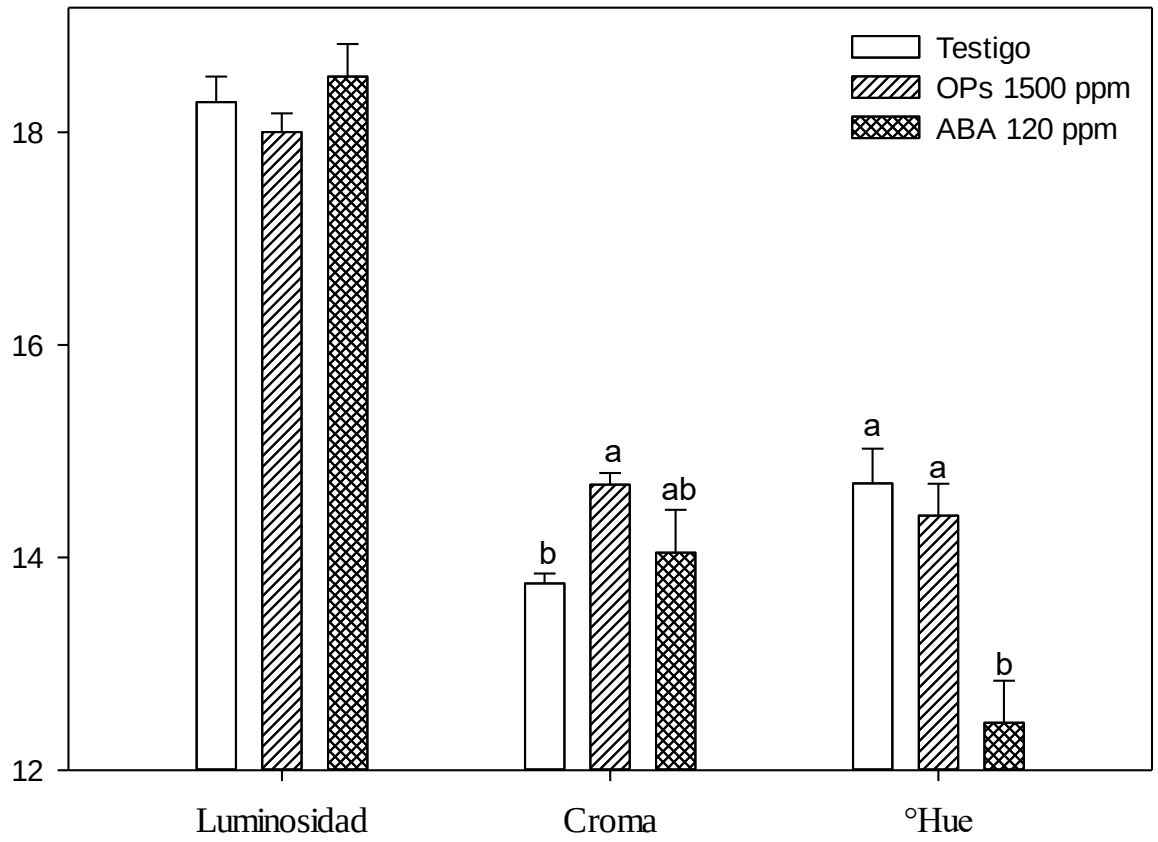


Figura 13. Efecto de la aplicación por aspersión (0 y 48 horas) de 1500 ppm de OPs y 120 ppm de ABA, en el color de los caldos para vinificación de uvas cv. Syrah. Literales diferentes indica diferencias significativas ($p < 0.05$) entre tratamientos. Valores igual a la media ± el error estándar, $n = 8$.

6.2.Solidos Solubles Totales

El contenido de SST aumento de forma constante durante la maduración de las bayas 'Syrah' (Figura 14). Se observaron diferencias significativas en el contenido de SST ($p < 0.05$) a los 5, 10 y 15 días después de la aplicación de los tratamientos, donde las bayas tratadas con OPs resultaron con un mayor aumento de SST, y aquellas de los grupos testigo y las tratadas con ABA tuvieron el menor aumento, sin diferir significativamente ($p > 0.05$) entre ellas. Estos resultados difieren con lo obtenido anteriormente por Ochoa-Villarreal et al., (2011) y Villegas et al., (2016), donde la aplicación de OPs en uvas de mesa cv. Flame Seedless y cv. Cabernet Sauvignon, respectivamente,

no presentó efecto en el contenido de SST. Tal efecto puede ser explicado en lo reportado por Van den Ende y El-Esawe (2014), donde se discute que existe una estrecha relación entre la síntesis de antocianinas y fructanos, ya que ambos son compuestos que son sintetizados en la vacuola celular. Debido a la existencia de familias de factores de transcripción de tipo MYB cuya expresión se ve inducida por la ruta de señalización especifica de sacarosa. De manera complementaria, en el estudio realizado por Villegas et al., (2016) se determinó que la aplicación de OPs en uvas de cv. Cabernet Sauvignon genera un cambio en la expresión de los factores de trascripción MYB4A y MYBA1. De tal manera, se especula que en el caso de la aplicación de OPs sobre uvas de cv. Syrah es posible que se estén expresando factores de transcripción relacionados tanto en la ruta de síntesis de antocianinas como de carbohidratos.

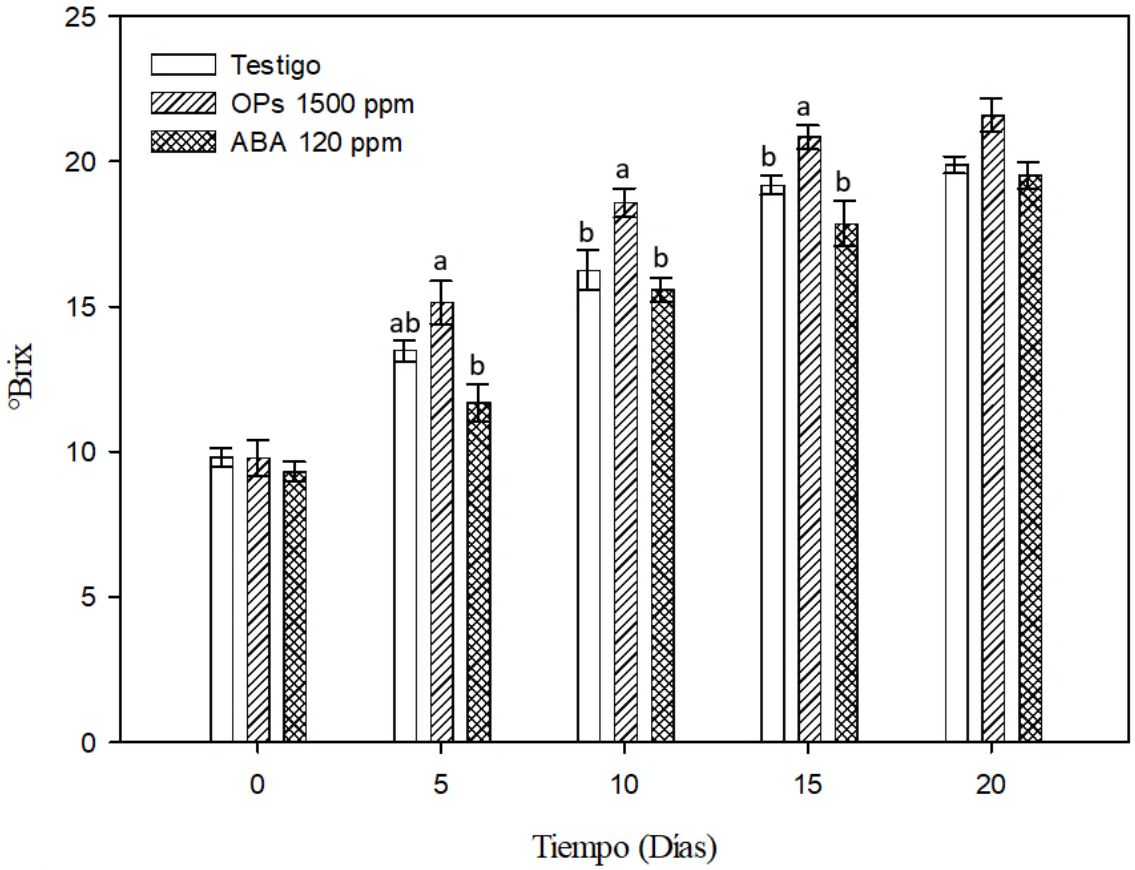


Figura 14. Efecto de la aplicación por aspersión (0 y 48 horas) de 1500 ppm de OPs y 120 ppm de ABA, en el contenido de azúcares fermentables (SST) en uvas del cv. Syrah. Literales diferentes indica diferencias significativas ($p < 0.05$) entre tratamientos. Valores igual a la media ± el error estándar, n = 8.

6.3. Acidez Titulable

Se observó que durante la maduración de las uvas cv. Syrah, la concentración de ácidos totales disminuye de manera constante. En la Figura 15 se observa que al día 10 hay una disminución significativa ($p < 0.05$) para este parámetro en las uvas tratadas con OPs, con respecto a los otros tratamientos. Sin embargo, para los días 15 y 20 ya no existen diferencias significativas ($p > 0.05$), es decir, el nivel de acidez es estadísticamente igual entre tratamientos. Al momento de la cosecha los valores de acidez titulable para uvas del grupo testigo, tratadas con OPs y tratadas con ABA fueron 4.09 ± 0.13, 3.90 ± 0.08 y 3.90 ± 0.07, respectivamente. Tales valores están cercanos a la

AT mínima requerida para vinos (4.0 g de ácido tartárico / L), según lo determinado por la Norma Mexicana V-012-1986 para bebidas alcohólicas, específicamente vinos.

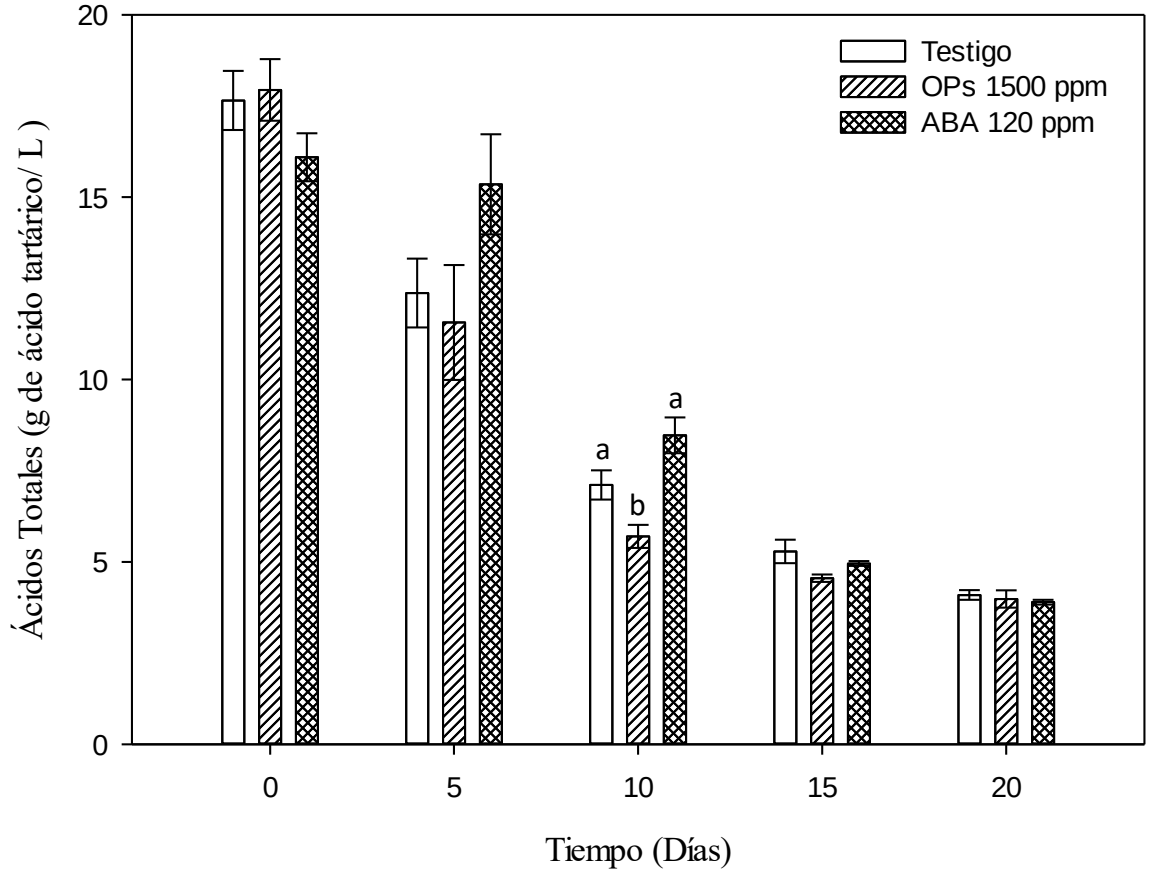


Figura 15. Efecto de la aplicación por aspersión (0 y 48 horas) de 1500 ppm de OPs y 120 ppm de ABA, en la acidez titulable de uvas del cv. Syrah. Literales diferentes indica diferencias significativas ($p < 0.05$) entre tratamientos. Valores igual a la media ± el error estándar, $n = 8$.

6.4.Índice de Madurez

En la Figura 16 se muestran los cambios del índice de madurez (IM) de las bayas del cv. Syrah a través del tiempo, calculado como la relación de SST / AT. Se determinó que el aumento del IM fue significativo ($p < 0.05$) por efecto de los tratamientos en los días 10 y 15, al resultar con valores más elevados las uvas tratadas con OPs, donde ABA y las bayas testigo fueron estadísticamente iguales, lo que indica que la aplicación de OPs en el envero, acelera la maduración de las bayas para vino del cv. Syrah. Conjuntando los resultados de IM, color e inducción de la madurez de los frutos, fundamentan que la aplicación de OPs puede adelantar la cosecha por lo menos 5 días en comparación a las uvas del grupo testigo; esta afirmación resulta de lo observado al día 15 después de la aplicación, que, en la mayoría de los casos, se llegó a los mejores valores de luminosidad, CIRG 2 y SST, cuyos valores fueron similares a los del día 20, lo que demuestra la posibilidad de adelantar la cosecha en cinco días.

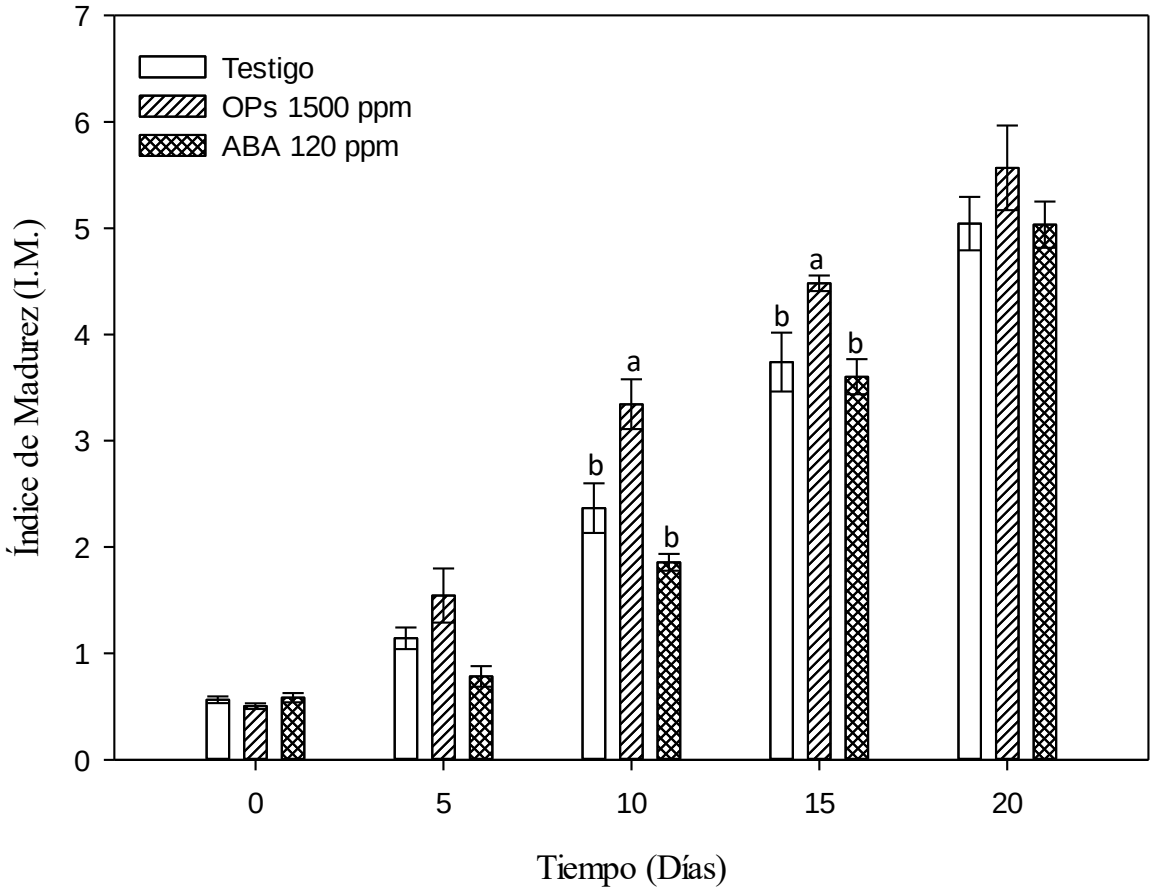


Figura 16. Efecto de la aplicación por aspersión (0 y 48 horas) de 1500 ppm de OPs y 120 ppm de ABA, en el Índice de Madurez en uvas cv. Syrah. Literales diferentes indica diferencias significativas ($p < 0.05$) entre tratamientos. Valores igual a la media ± el error estándar, n = 8.

6.5. Porcentaje de Alcohol Probable

Puesto que se observó que la aplicación de OPs tiene la capacidad de acelerar la maduración y adelantar la cosecha, se realizó el cálculo teórico de porcentaje de alcohol probable (% AP), tanto para de uvas recolectadas al día 15 y los caldos producidos de uvas cosechadas al día 20 después de la aplicación de tratamientos. Los resultaros mostraron que la aplicación de OPs en uvas cv. Syrah aumentó de manera significativa ($p < 0.05$) el porcentaje de alcohol probable tanto en los caldos, como en las uvas muestreadas el día 15 después de la aplicación de los tratamientos, en comparación con ABA y el testigo (Figura 17). Además, los resultados obtenidos en el tratamiento

con OPs para caldos y uvas fueron de 11.99 ± 0.28 % AP y 11.58 ± 0.39 % AP, respectivamente, los cuales se encuentran dentro de rangos bajos de contenido alcohólico (10.0 – 12.0 %) que favorecen la percepción de las propiedades organolépticas de los vinos, especialmente aromas (Goldner et al., 2009). Así mismo, la aplicación de OPs estaría apoyando la nueva tendencia de obtener vinos con contenido bajo de alcohol, contrarrestando el posible efecto ocasionado por las altas temperaturas durante la maduración de las bayas, ocasionado por el cambio climático.

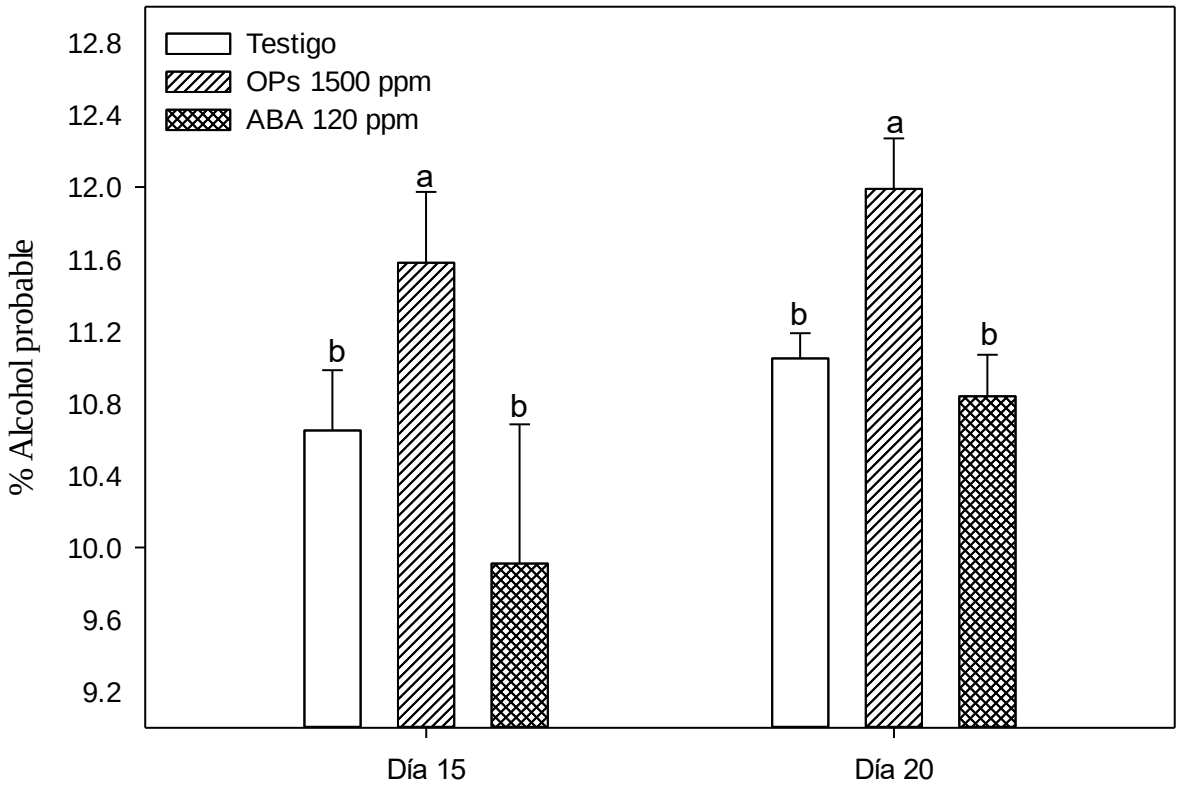


Figura 17. Efecto de la aplicación por aspersión (0 y 48 horas) a uvas del cv. Syrah de 1500 ppm de OPs y 120 ppm de ABA, en el porcentaje de alcohol probable en uvas de 15 día después de la aplicación y caldos de 20 días después de la aplicación. Literales diferentes indica diferencias significativas ($p < 0.05$) entre tratamientos. Valores igual a la media ± el error estándar, n = 8.

6.6.Contenido de Fenoles Totales

En la determinación de fenoles totales, a diferencia de todas las variables reportadas anteriormente, no se observó una tendencia clara de aumento o disminución de la concentración a lo largo del tiempo (Figura 18). Se observaron diferencias significativas ($p < 0.05$) a los 10 y 20 días después de la aplicación de los tratamientos, en ambos casos, las uvas tratadas con ABA registraron una mayor concentración de fenoles totales con respecto a las del grupo testigo, pero sin diferencias ($p > 0.05$) con lo obtenido por efecto de OPs. Cabe mencionar que al día 15, aunque no existieron diferencias significativas ($p > 0.05$), fueron las uvas tratadas con OPs, las que mostraron una mayor concentración de fenoles totales. Pero al día 20, las uvas tratadas con ABA mostraron mayor contenido de fenoles totales. Sin embargo, los caldos elaborados a partir de uvas cosechadas después de 20 días de aplicación con OPs, resultaron con un mayor contenido de fenoles totales ($p < 0.05$) respecto al efecto de los otros tratamientos (Figura 19).

La importancia de una mayor cantidad de compuestos fenólicos en los caldos radica en su capacidad de copigmentación, característica que incrementa la intensidad del color en los vinos, por la interacción de estos con el catión flavilio de las antocianinas en medio acuoso (Malaj et al., 2013). Álvarez et al., (2009) aborda la relevancia de la copigmentación en un estudio donde adicionó compuestos fenólicos al caldo, previo a la fermentación, lo que generó vinos de mejor coloración. De manera similar, Bimpilas et al., (2016) observaron un aumento entre 15 y 50 % en el color de vinos donde se adicionaron extractos ricos en ácidos hidroxicinámicos, previo a la maduración de los mismos. Dentro de estos compuestos se encuentran los ácidos cafeico, p-cumárico y ferúlico, los cuales participan en la ruta de los fenilpropanoides, y, por lo tanto, es posible que la aplicación de OPs aumentó la concentración de los mismos. De ser así, dichos efectos, influyen en que los caldos provenientes de uvas tratadas con OPs tengan mayor intensidad en el color en comparación al efecto causado por los otros tratamientos.

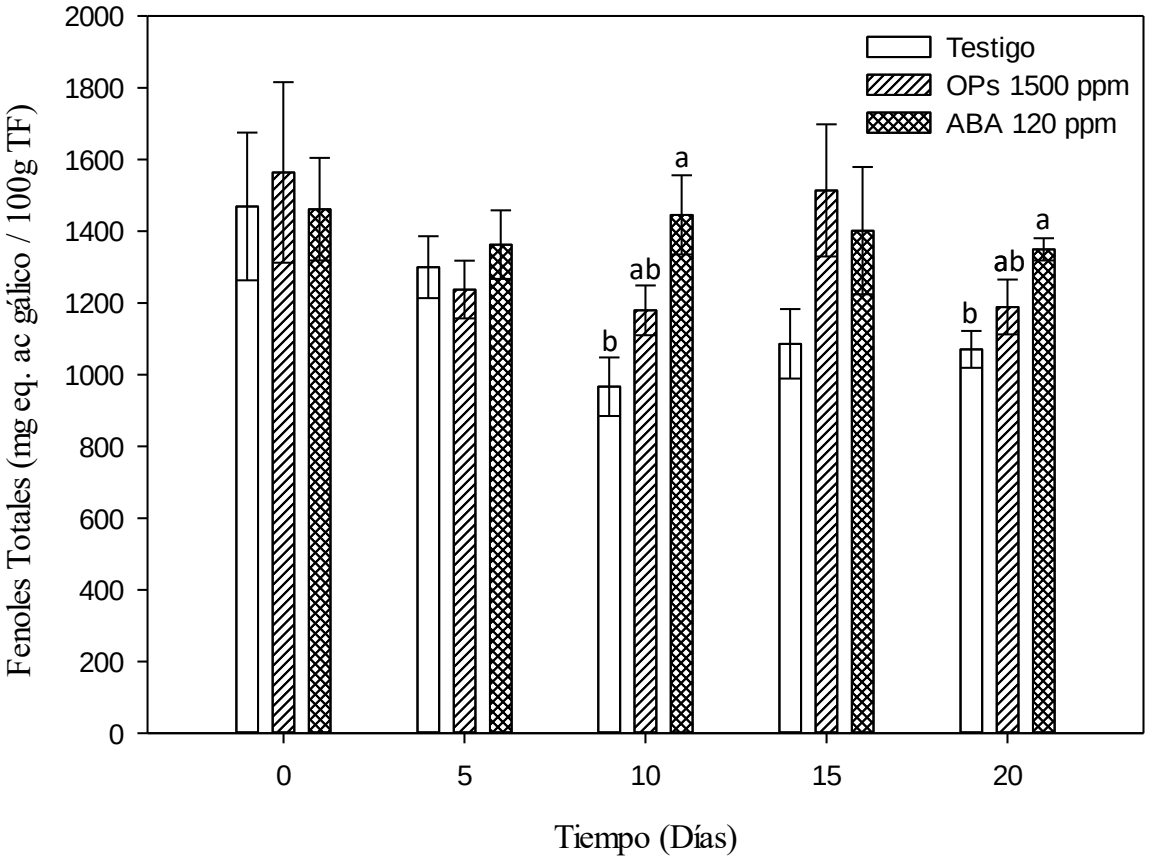


Figura 18. Efecto de la aplicación por aspersión (0 y 48 horas) de 1500 ppm de OPs y 120 ppm de ABA, en el contenido de Fenoles Totales en la piel de uvas cv. Syrah. Literales diferentes indica diferencias significativas ($p < 0.05$) entre tratamientos. Valores igual a la media ± el error estándar, $n = 8$.

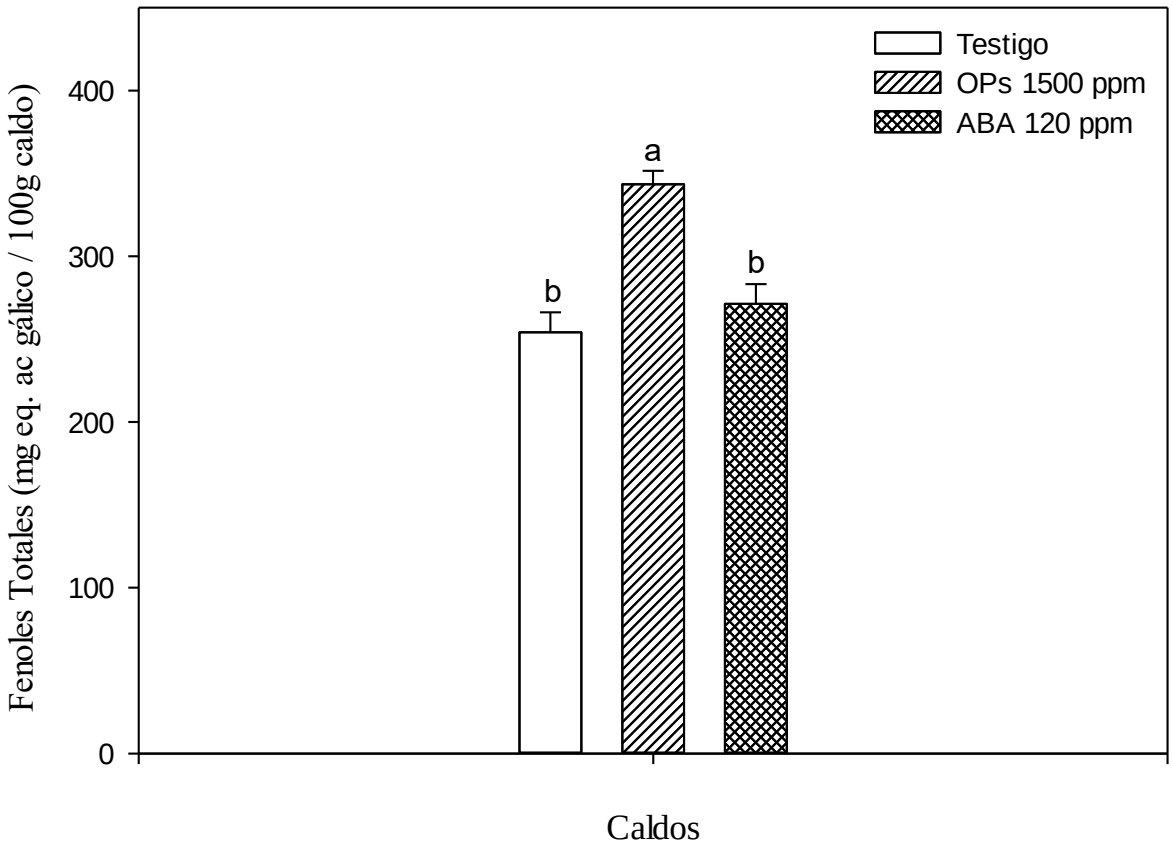


Figura 19**.** Efecto de la aplicación por aspersión (0 y 48 horas) de 1500 ppm de OPs y 120 ppm de ABA, en el contenido de Fenoles Totales, en los caldos resultantes de uvas cv. Syrah cosechadas al día 20. Literales diferentes indica diferencias significativas ($p < 0.05$) entre tratamientos. Valores igual a la media ± el error estándar, n = 8.

6.7. Contenido de Antocianinas

En la Figura 20 se puede observar la tendencia de acumulación de antocianinas en el epicarpio de las uvas tratadas a lo largo del tiempo. Al día 5 existieron diferencias significativas ($p < 0.05$) en contenido de todas las antocianinas, donde el tratamiento con OPs fue mayor en todos los casos, excepto en Peonidina, donde OPs y ABA resultaron estadísticamente iguales ($p > 0.05$). De manera similar al día 10 las bayas tratadas con, ABA y OPs no mostraron diferencias significativas ($p > 0.05$) en las diferentes antocianinas, sin embargo, OPs fue mayor ($p < 0.05$) que las bayas testigo

en todos los casos, excepto para la antocianina delfinidina. Para el día 15 solo se registraron diferencias significativas ($p < 0.05$) en el caso de malvidina, la cual fue mayor en las uvas tratadas con ABA ($p < 0.05$) al grupo testigo, pero igual ($p < 0.05$) a OPs. A pesar de no existir diferencias estadísticas, en la mayoría de los casos puede observarse que las uvas tratadas con 1500 ppm de OPs, registra la concentración más alta de antocianinas al día 15. Complementariamente, Castañeda-Vázquez (2010) reportó que a los 15 días después de la aplicación de oligogaracturónidos en uvas para mesa del cv. 'Flame Sedless', aumentó la concentración de antocianinas significativamente ($p < 0.05$). Para el día 20 se registró una mayor ($p < 0.05$) concentración de delfinidina, petunidina y malvidina en las uvas tratadas con ABA, respecto a los demás tratamientos. En este mismo tiempo, la concentración de peonidina resultó igual en las uvas tratadas con OPs y ABA ($p > 0.05$), mientras que en el grupo testigo fue menor ($p < 0.05$)

En los caldos, se encontró que en aquellos provenientes de uvas tratadas con OPs, fue mayor ($p < 0.05$) la acumulación de las antocianinas, delfinidina, petunidina y malvidina; cianidina y peonidina no mostraron diferencias estadísticas ($p > 0.05$) (Figura 21). De estos resultados, podemos inferir que las 3 antocianinas mencionadas, son las que están influyendo en brindar una mayor intensidad a la coloración del caldo. Malvidina es la antocianina que siempre se encuentra en mayor concentración en los vinos, dándole la tonalidad tinta característica, así como petunidina es una antocianina que se caracteriza también por brindar coloraciones rojas intensas y, por otro lado, delfinidina tiende a aportar tonalidades azul-violeta (Khoo et al., 2017; Ribéreau-Gayon et al., 2006). Además, al comparar los resultados con el estudio de Mazza y Francis (1995), donde caracterizaron uvas para vinos, incluyendo cv. Syrah, las proporciones de las diferentes antocianinas son similares a las reportadas en este trabajo.

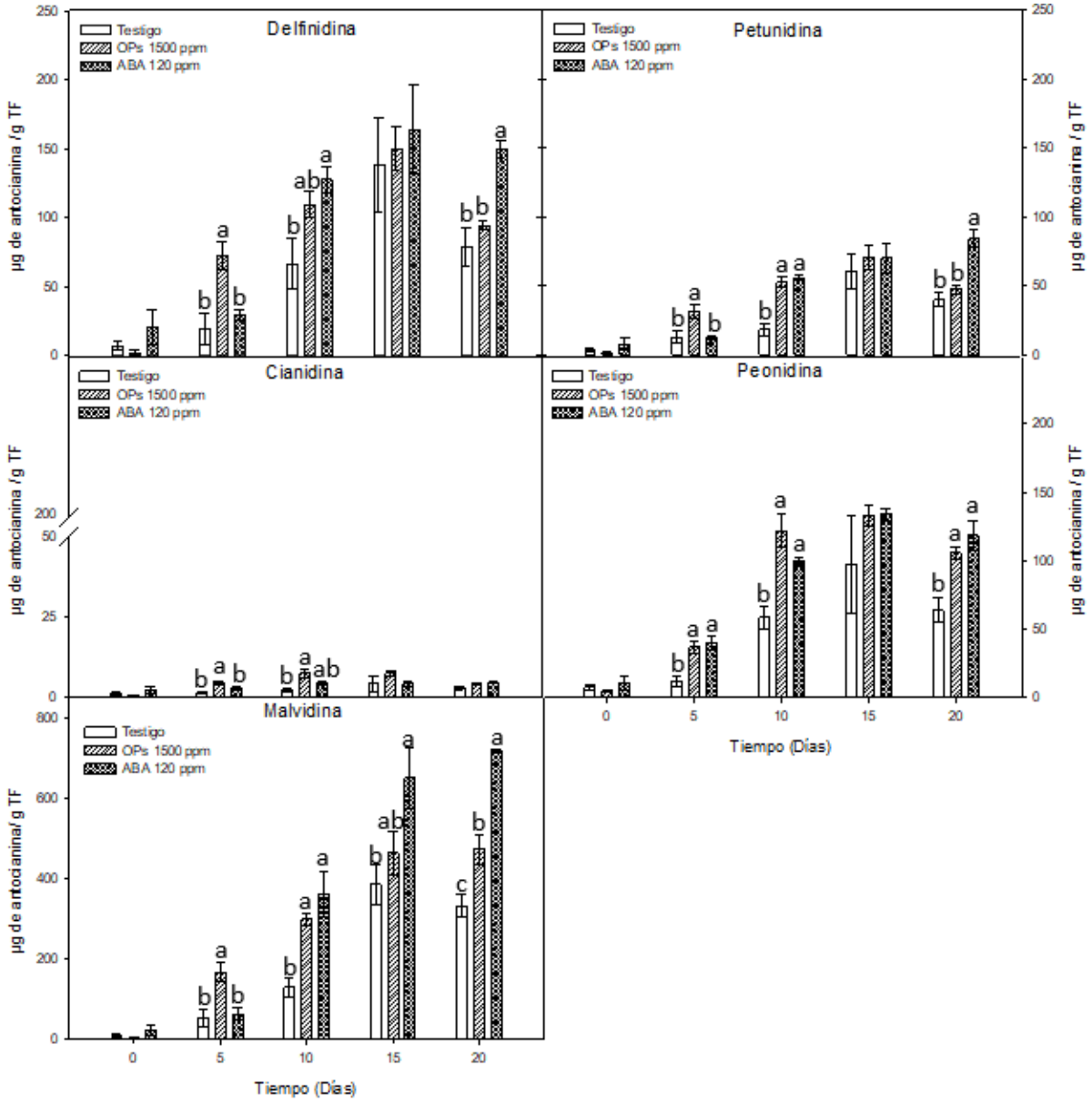


Figura 20**.** Efecto de la aplicación por aspersión (0 y 48 horas) de 1500 ppm de OPs y 120 ppm de ABA, en el contenido de antocianinas en uvas del cv. Syrah. Literales diferentes indica diferencias significativas ($p < 0.05$) entre tratamientos. Valores igual a la media ± el error estándar, n = 4.

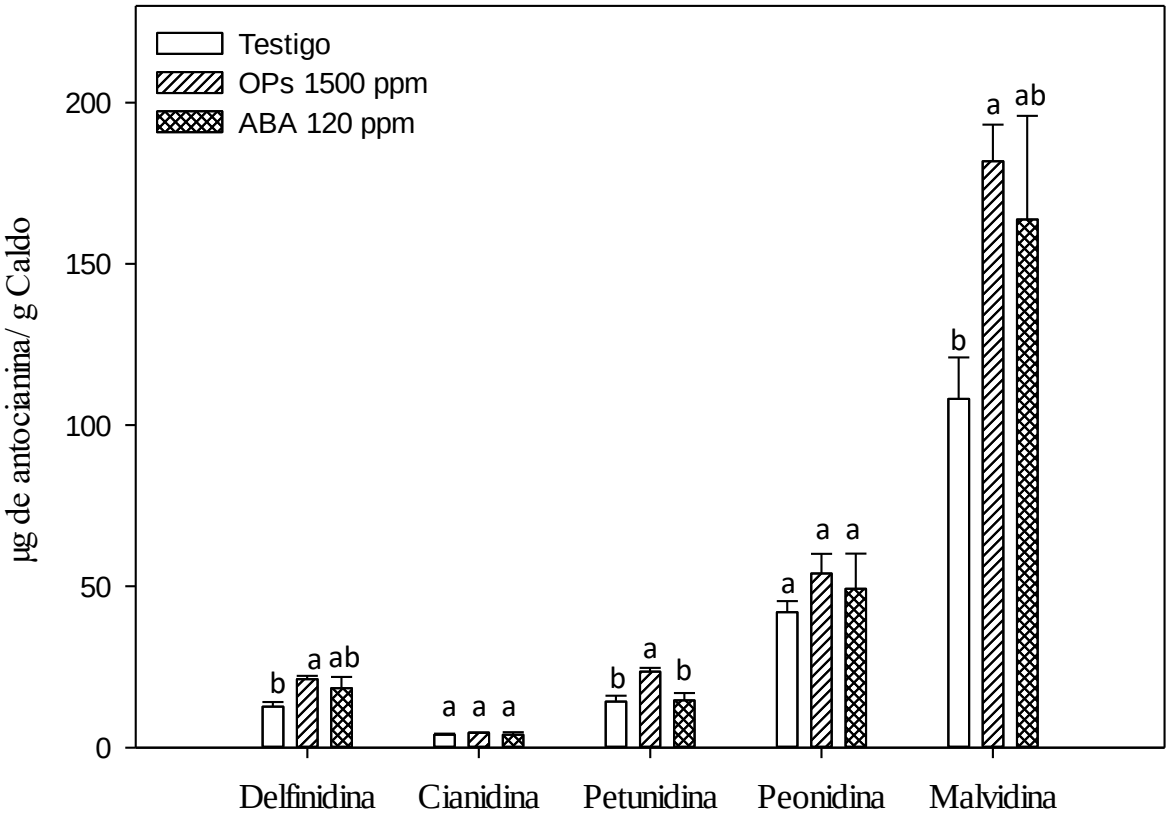


Figura 21. Efecto de la aplicación por aspersión (0 y 48 horas) de 1500 ppm de OPs y 120 ppm de ABA, en el contenido de antocianinas en los caldos de uvas del cv. Syrah. Literales diferentes indica diferencias significativas ($p < 0.05$) entre tratamientos. Valores igual a la media ± el error estándar, n = 4.

De manera complementaria se realizó un análisis de correlación entre los parámetros de color, fenoles y antocianinas, tanto para uvas y caldos, bloqueando el efecto de los tratamientos, para relacionar que variables influyen en mayor medida en el incremento de los parámetros utilizados para determinar color (CIRG 2 en uvas, Croma en caldos). Este análisis se realizó a partir de un sub-muestreo y no tiene el rigor estadístico necesario para incluirlo en el apartado de resultados y discusión.

En la tabla 4 se muestran los resultados obtenidos por el análisis de correlaciones de Pearson. En cuanto a CIRG 2, los resultados arrojan una mayor correlación para la antocianina peonidina, seguida de delfinidina, petunidina, malvidina y cianidina, y con una correlación negativa en el caso de fenoles. Caso contrario para el valor Croma en los caldos, se observa que delfinidina, seguido

del contenido de fenoles, malvidina y petunidina, son las variables que más influyen en el incremento de dicha variable; las variables que menos influencia tienen en este parámetro son cianidina y peonidina. Esta información respalda el hallazgo de que los caldos de uvas tratadas con OPs tuvieran un color más intenso en términos del parámetro Croma, ya que, como se indicó con anterioridad, sus concentraciones de fenoles totales, así como delfinidina, petunidina y malvidina, resultaron mayores que en los caldos testigo.

Color	Fenoles	Delfinidina	Cianidina	Petunidina	Peonidina	Malvidina
Uvas (CIRG 2)	-0.318526	0.80407	0.692969	0.792329	0.855634	0.787049
Caldos (Croma)	0.88721	0.905988	0.444016	0.762793	0.626908	0.797636

Tabla 4. Correlaciones entre fenoles y antocianinas, con respecto al color. Los resultados mostrados no tienen rigor estadístico.

7. CONCLUSIÓN

El uso de OPs a 1500 ppm aplicados al inicio del envero de uvas del cv. Syrah, tienen la capacidad de inducir el color en las bayas, por el incremento en el contenido de antocianinas, y aumentar el contenido de azucares fermentables, reduciendo el tiempo de cosecha y mejorando la calidad de los caldos para vinificación y, reduce los efectos negativos causados por el aumento de las temperaturas ambientales durante la maduración de las bayas.

8. REFERENCIAS

Acosta, D. L., Menéndez, D. C., & Rodríguez, A. F. (2018). Los oligogalacturónidos en el crecimiento y desarrollo de las plantas. *Cultivos Tropicales*, *39*(2), 127-134.

Altieri, M. A., & Nicholls, C. I. (2009). Cambio climático y agricultura campesina: impactos y respuestas adaptativas. *LEISA revista de agroecología*, *14*, 5-8.

Álvarez, I., Aleixandre, J. L., García, M. J., Lizama, V., & Aleixandre-Tudó, J. L. (2009). Effect of the prefermentative addition of copigments on the polyphenolic composition of Tempranillo wines after malolactic fermentation. *European Food Research and Technology*, *228*(4), 501-510.

AOAC, 1984. Association of Official Agricultural Chemist. Official Methods of Analysis of the AOAC. Washington D.C. USA.

Ashenfelter, O., & Storchmann, K. (2016). The economics of wine, weather, and climate change. *Review of Environmental Economics and Policy*, *10*(1), 25-46.

Bakker, J., & Clarke, R. J. (2011). *Wine: flavour chemistry*: John Wiley & Sons. UK, 2(2), 441.

Bimpilas, A., Panagopoulou, M., Tsimogiannis, D., & Oreopoulou, V. (2016). Anthocyanin copigmentation and color of wine: The effect of naturally obtained hydroxycinnamic acids as cofactors. *Food Chemistry*, *197*, 39-46.

Casassa, F., & Sari, S. (2006). Aplicación del Sistema Cie-Lab a los vinos tintos. Correlación con algunos parámetros tradicionales. Revista de Enología, (5/8).

Castañeda-Vázquez, B. I. (2010). Inducción de antocianinas y capacidad antixidante por oligogalacturónidos en uvas de mesa cv. 'Flame Seedless'. (Tesis de Maestría), Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo, A. C., Hermosillo, Sonora.

CMV, (2017). Consejo Mexicano Vitivinícola. México, D.F. Recuperado de http://uvayvino.org.mx/

Conde, C., Silva, P., Fontes, N., Dias, A. C. P., Tavares, R. M., Sousa, M. J., Agasse, A., Delrot, S., & Gerós, H. (2007). Biochemical changes throughout grape berry development and fruit and wine quality. *Global Science Books*, *Food* 1(1), 1-22.

Contreras, A., Hidalgo, C., Schmidt, S., Henschke, P., Curtin, C., & Varela, C. (2015). The application of non-Saccharomyces yeast in fermentations with limited aeration as a strategy for the production of wine with reduced alcohol content. *International journal of food microbiology*, 205, 7-15.

Courtois, J. (2009). Oligosaccharides from land plants and algae: production and applications in therapeutics and biotechnology. *Current Opinion in Microbiology*, *12*(3), 261-273.

de Andrade, R. H. S., do Nascimento, L. S., Pereira, G. E., Hallwass, F., & Paim, A. P. S. (2013). Anthocyanic composition of Brazilian red wines and use of HPLC-UV–Vis associated to chemometrics to distinguish wines from different regions. *Microchemical Journal*, *110*, 256-262.

Dequin, S., Escudier, J. L., Bely, M., Noble, J., Albertin, W., Masneuf-Pomarède, I., Marullo, P., Salmon, J-M., Sablayrolles, J.-M. (2017). How to adapt winemaking practices to modified grape composition under climate change conditions. *Journal international des sciences de la vigne et du vin= International journal of vine and wine sciences, 51*(2), 205-214.

El Darra, N., Turk, M. F., Ducasse, M.-A., Grimi, N., Maroun, R. G., Louka, N., & Vorobiev, E. (2016). Changes in polyphenol profiles and color composition of freshly fermented model wine due to pulsed electric field, enzymes and thermovinification pretreatments. *Food Chemistry, 194*, 944-950.

Frost, R., Quiñones, I., Veldhuizen, M., Alava, J.-I., Small, D., & Carreiras, M. (2015). What can the brain teach us about winemaking? An fMRI study of alcohol level preferences. *PloS one, 10*(3), e0119220.

García-Baldenegro, C. V. (2011). *Expresión de genes involucrados en la síntesis de carotenoides en el fruto de tomate por la aplicación de oligogalacturónidos y ethephon.* (Tesis de Maestría), Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo, A. C., Hermosillo, Sonora.

García, E., Fernández, I., & Fuentes, A. (2015). Determinación de polifenoles totales por el método de Folin-Ciocalteu. *Universitat Politècnica de València. Escuela Técnica*. Valencia, España.

García-Guzmán, J. J., Hernández-Artiga, M. P., de León, L. P.-P., & Bellido-Milla, D. (2015). Selective methods for polyphenols and sulphur dioxide determination in wines. *Food Chemistry, 182*, 47-54.

García, J., Balda, P., Sancha, J., & de Toda, F. M. (2014). *Un nuevo enfoque sobre la adaptación de las variedades al cambio climático: el desacoplamiento entre antocianos y azúcares de la uva.* Paper presented at the I Jornada del Grupo de Viticultura y Enología: Comunicaciones, Logroño, 19 y 20 de noviembre, 2014.

García-Marino, M., Escudero-Gilete, M. L., Heredia, F. J., Escribano-Bailón, M. T., & Rivas-Gonzalo, J. C. (2013). Color-copigmentation study by tristimulus colorimetry (CIELAB) in red wines obtained from Tempranillo and Graciano varieties. *Food research international, 51*(1), 123-131.

García-Villegas, V. R., Yipmantin Ojeda, A. G., Guzmán Lezama, E. G., Pumachagua Huertas, R., & Maldonado García, H. J. (2011). Estudio de la cinética de biosorción de iones plomo en pectina reticulada proveniente de cáscaras de cítricos. *Revista de la Sociedad Química del Perú, 77*(3), 173-181.

González-Barreiro, C., Rial-Otero, R., Cancho-Grande, B., & Simal-Gándara, J. (2015). Wine aroma compounds in grapes: a critical review. *Critical reviews in food science and nutrition, 55*(2), 202-218.

Goldner, M. C., Zamora, M. C., Di Leo Lira, P., Gianninoto, H., & Bandoni, A. (2009). Effect of ethanol level in the perception of aroma attributes and the detection of volatile compounds in red wine. *Journal of Sensory Studies, 24*(2), 243-257.

Hannah, L., Roehrdanz, P. R., Ikegami, M., Shepard, A. V., Shaw, M. R., Tabor, G., Zhi, L., Marquet, P. A., Hijmans, R. J. (2013). Climate change, wine, and conservation. Proceedings of the National Academy of Sciences, 110(17), 6907-6912.

Heleno, S. A., Martins, A., Queiroz, M. J. R., & Ferreira, I. C. (2015). Bioactivity of phenolic acids: Metabolites versus parent compounds: A review. *Food Chemistry, 173*, 501-513.

Khoo, H. E., Azlan, A., Tang, S. T., & Lim, S. M. (2017). Anthocyanidins and anthocyanins: colored pigments as food, pharmaceutical ingredients, and the potential health benefits. *Food & nutrition research*, *61*(1), 1361779.

Longo, R., Blackman, J. W., Antalick, G., Torley, P. J., Rogiers, S. Y., & Schmidtke, L. M. (2018). Harvesting and blending options for lower alcohol wines: a sensory and chemical investigation. *Journal of the Science of Food and Agriculture*. 98(1), 33-42.

Malaj, N., De Simone, B. C., Quartarolo, A. D., & Russo, N. (2013). Spectrophotometric study of the copigmentation of malvidin 3-O-glucoside with p-coumaric, vanillic and syringic acids. Food chemistry, 141(4), 3614-3620.

Martelo-Vidal, M., & Vázquez, M. (2014). Determination of polyphenolic compounds of red wines by UV–VIS–NIR spectroscopy and chemometrics tools. *Food Chemistry, 158*, 28-34.

Martinez, A., Tudó, A., Luis, J. & Aleixandre Benavent, J. L. (2016). *Efectos de los fenómenos producidos por el cambio climático sobre la calidad de los vinos.* Paper presented at the Enoviticultura.

Mazza, G., & Francis, F. J. (1995). Anthocyanins in grapes and grape products. Critical Reviews in Food Science & Nutrition, 35(4), 341-371.

Mederos Torres, Y., Reynaldo Escobar, I. M., & Hormaza Monte-Negro, J. (2016). Características metrológicas en la determinación de ácidos urónicos para el control de la calidad en mezclas de oligogalacturónidos. Cultivos Tropicales, 37(1), 136-141.

Morales, P., Rojas, V., Quirós, M., & Gonzalez, R. (2015). The impact of oxygen on the final alcohol content of wine fermented by a mixed starter culture. *Applied microbiology and biotechnology*, 99(9), 3993-4003.

Moreno, B. L., & Oyola, Y. A. D. (2016). Caracterización de parámetros fisicoquímicos en frutos de mora (Rubus alpinus Macfad). Acta Agronómica, 65(2), 130-136.

Nicholas, K. A. (2015). ¿ Cómo afecta el cambio climático a los vinos? *Investigación y ciencia*. (466), 40-49.

Ochoa-Villarreal, M., Vargas-Arispuro, I., Islas-Osuna, M. A., González-Aguilar, G., & Martínez-Téllez, M. Á. (2011). Pectin-derived oligosaccharides increase color and anthocyanin content in Flame Seedless grapes. *Journal of the Science of Food and Agriculture, 91*(10), 1928-1930.

OIV, (2018). Bases de datos y Estadísticas de la Organización Internacional de la Viña y el Vino. París, Francia. Recuperado de http://www.oiv.int/es/bases-de-datos-y-estadisticas.

Peppi, M. C., Fidelibus, M. W., & Dokoozlian, N. (2006). Abscisic Acid Application Timing and Concentration Affect Firmness, Pigmentation, and Color ofFlame Seedless' Grapes. Hortscience, 41(6), 1440-1445.

Portu, J., López, R., Baroja, E., Santamaría, P., & Garde-Cerdán, T. (2016). Improvement of grape and wine phenolic content by foliar application to grapevine of three different elicitors: Methyl jasmonate, chitosan, and yeast extract. *Food Chemistry, 201*, 213-221.

Red de Estaciones Meteorológicas Automáticas de SONORA (2019). REMAS. Recuperado de: http://www.siafeson.com/remas2/index.php/reportemensual

Ribéreau-Gayon, P., Glories, Y., Maujean, A., & Dubourdieu, D. (Eds.). (2006). *Handbook of Enology, Volume 2: The Chemistry of Wine-Stabilization and Treatments* (Vol. 2). John Wiley & Sons.

Rolle, L., & Guidoni, S. (2007). Color and anthocyanin evaluation of red winegrapes by CIE L*, a*, b* parameters. OENO One, 41(4), 193-201.

Rousserie, P., Rabot, A., & Geny-Denis, L. (2019). From Flavanols Biosynthesis to Wine Tannins: What Place for Grape Seeds?. *Journal of agricultural and food chemistry*, *67*(5), 1325-1343.

Sadras, V. O., & Moran, M. A. (2012). Elevated temperature decouples anthocyanins and sugars in berries of Shiraz and Cabernet Franc. Australian Journal of Grape and Wine Research, 18(2), 115-122.

Salazar Iribe, A., & Gamboa de Buen, A. (2013). Importancia de las pectinas en la dinámica de la pared celular durante el desarrollo vegetal. *REB. Revista de educación bioquímica*, *32*(2), 67-75.

Sen, I., & Tokatli, F. (2016). Differentiation of wines with the use of combined data of UV–visible spectra and color characteristics. *Journal of Food Composition and Analysis*, *45*, 101-107.

Schelezki, O. J., Smith, P. A., Hranilovic, A., Bindon, K. A., & Jeffery, D. W. (2018). Comparison of consecutive harvests versus blending treatments to produce lower alcohol wines from Cabernet Sauvignon grapes: Impact on polysaccharide and tannin content and composition. *Food Chemistry*, 244, 50-59.

Suvanto, J., Nohynek, L., Seppänen-Laakso, T., Rischer, H., Salminen, J.-P., & Puupponen-Pimiä, R. (2017). Variability in the production of tannins and other polyphenols in cell cultures of 12 Nordic plant species. *Planta*, *246*(2), 227-241.

Ullah, Z., Mehmood, R., Imran, M., Malik, A., & Afzal, R. A. (2013). New acylated oligosaccharides from Pistacia integerrima. *Natural product research*, *27*(21), 2027-2032.

Valenzuela Solano, C., Ruiz Corral, J. A., Ramírez Ojeda, G., & Hernández Martínez, R. (2014). Efectos del cambio climático sobre el potencial vitícola de Baja California, México. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, *5*(SPE10), 2047-2059.

Van den Ende, W., & El-Esawe, S. K. (2014). Sucrose signaling pathways leading to fructan and anthocyanin accumulation: a dual function in abiotic and biotic stress responses? *Environmental and experimental botany*, *108*, 4-13.

Vázquez-Flores, A. A., Álvarez-Parrilla, E., López-Díaz, J. A., Wall-Medrano, A., & De la Rosa, L. A. (2012). Taninos hidrolizables y condensados: naturaleza química, ventajas y desventajas de su consumo. *Tecnociencia Chihuahua*, *6*(2), 84-93.

Vera-Guzman, A. M., Lafuente, M. T., Aispuro-Hernandez, E., Vargas-Arispuro, I., & Martinez-Tellez, M. A. (2017). Pectic and galacturonic acid oligosaccharides on the postharvest performance of Citrus fruits. *Hortscience*, *52*(2), 264-270.

Villegas, D., Handford, M., Alcalde, J. A., & Perez-Donoso, A. (2016). Exogenous application of pectin-derived oligosaccharides to grape berries modifies anthocyanin accumulation, composition and gene expression. *Plant Physiology and Biochemistry, 104*, 125-133.

Wang, Z., Yu, H., Wu, X., Zhang, T., Cui, H., Wan, C., & Gao, X. (2016). Effects of dietary zinc pectin oligosaccharides chelate supplementation on growth performance, nutrient digestibility and tissue zinc concentrations of broilers. *Biological trace* element research, 173(2), 475-482.

Yamamoto, L. Y., de Assis, A. M., Roberto, S. R., Bovolenta, Y. R., Nixdorf, S. L., García-Romero, E., Gómez-Alonso, S., & Hermosín-Gutiérrez, I. (2015). Application of abscisic acid (S-ABA) to cv. Isabel grapes (*Vitis vinifera*× *Vitis labrusca*) for color improvement: effects on color, phenolic composition and antioxidant capacity of their grape juice. *Food research international*, 77, 572-583.

Zunun-Pérez, A., Guevara-Figueroa, T., Jimenez-Garcia, S., Feregrino-Pérez, A., Gautier, F., & Guevara-González, R. (2017). Effect of foliar application of salicylic acid, hydrogen peroxide and a xyloglucan oligosaccharide on capsiate content and gene expression associated with capsinoids synthesis in Capsicum annuum L. *Journal of biosciences, 42*(2), 245-250.