



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

**EFFECTOS DE LA APLICACIÓN DE PLASMA FRÍO ATMOSFÉRICO SOBRE LA COMPOSICIÓN  
QUÍMICA DEL VINO**

**MEMORIA DE TÍTULO**

**Bárbara Arlette Muñoz Valenzuela**

**TALCA- CHILE**

**2021**

## CONSTANCIA

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



Talca, 2021

**APROBACIÓN:**



---

**Profesor Guía: Felipe Laurie Gleisner, Ing. Agrónomo, M.S, Ph.D.  
Facultad de Ciencias Agrarias  
Universidad de Talca**



---

**Profesor Co – Guía: Aníbal Concha Meyer, Ing. en Alimentos, Ph.D.  
Facultad de Ciencias Agrarias y Alimentarias  
Universidad Austral de Chile**

**Fecha de presentación de Memoria de Título: 30 de septiembre del 2021**

## AGRADECIMIENTOS

Agradezco en primer lugar a mi familia. A mis padres Ana y Benedicto, por su apoyo incondicional, y porque siempre estuvieron en los altos y bajos que significó estudiar Agronomía. Por su apoyo desde el día uno que decidí estudiar en la universidad, enseñándome siempre a ser mejor persona, responsable y con valores, siempre dando una palabra de aliento para ir más adelante. A mis hermanos Braulio y Betzabé, que estuvieron siempre a mi lado, dando ese empujón para atreverme a salir de mi zona de confort. A mi sobrino Lucas que siempre me dio un momento de distracción con sus conversaciones interesantes. Gracias a mi pareja Carlos, que siempre puso el hombro cuando estaba cansada y me apoyo en todo el proceso de mi escrito.

Agradecer a mis amigas Isadora, Valentina y Victoria, que siempre me dieron una sonrisa y apoyo durante todos estos años de estudios juntas, y que estuvieron en las buenas y en las malas. Les agradezco por hacer estos años de universidad mas amenos. Gracias por su confianza, amistad y alegría. Agradecer, además, a la directora Gabriela Cofré, que siempre puso oído cuando más lo necesité, me abrió las puertas siempre cuando lo solicité, y me impulso a realizar el intercambio que tanto me sirvió en mi formación educacional.

Finalmente quiero agradecer a mis profesores Felipe Laurie y Aníbal Concha, que, a pesar de las dificultades presentadas por la pandemia, siempre tuvieron la paciencia y tiempo de ayudarme en este trabajo. Por su experiencia y amabilidad al momento de resolver dudas y por su exigencia para lograr una mejor investigación. Sumar el apoyo de las chicas del laboratorio, las Dras. María Navarro, Liudis Pino y Paula Peña, que todas las mañanas nos recibían con una sonrisa y estaban dispuestas a ayudarnos a resolver dudas.

## RESUMEN

A la fecha, varios estudios han reportado que la aplicación de plasma frío atmosférico (PFA) podría contribuir a asegurar la inocuidad de algunos alimentos. Sin embargo, aún se requieren más investigaciones sobre los cambios que provoca a nivel químico y organoléptico en el vino. En el presente estudio se buscó evaluar algunos de los cambios químicos provocados por la aplicación de PFA en un vino de variedad Carménère. Los tratamientos consideraron variaciones en el tiempo de aplicación de PFA con lapsos de 0; 0,5; 1 y 3 minutos sobre volúmenes de muestra de 20 mL de vino. Los resultados indicaron que para el caso de los sólidos solubles y acidez real (pH) se produjeron disminuciones significativas en su concentración, en cambio la acidez titulable, la concentración de fenoles, y las variables cromáticas mostraron aumentos significativos para algunos de los tratamientos. Adicionalmente, y como una forma de evaluar si los efectos observados se debieron a la evaporación de parte de las muestras de vino por efecto del flujo de aire del PFA, se realizó un experimento donde las muestras fueron expuestas sólo al flujo de aire del instrumento. En este caso, se observaron resultados con la misma tendencia, pero con una menor significancia estadística, por lo que se pudo concluir que el PFA puede generar cambios significativos en la composición química del vino Carménère. Adicionalmente, se recomienda realizar más estudios para determinar el comportamiento de los resultados en un periodo de tiempo más prolongado.

## **ABSTRACT**

Currently, several studies have found that the application of atmospheric cold plasma (PFA) could contribute to improve the safety of some foods. However, more research is needed on the chemical and organoleptic changes it causes in wine. The present study aimed to evaluate some of the chemical changes caused by the application of PFA in a Carménère variety wine. The treatments considered variations in the time of application of PFA with lapses of 0, 0.5, 1 and 3 minutes on sample volumes of 20 mL of wine. The results indicated that in the case of soluble solids and real acidity (pH) there were significant decreases in their concentration, while titratable acidity, concentration of phenols, and chromatic variables showed significant increase for some of the treatments. Additionally, and as a way to evaluate if the observed effects were due to the evaporation of part of the wine samples due to the PFA air flow, an experiment was carried out where the samples were exposed only to the instrument air flow. In this case, results with the same trend were observed but with less statistical significance, so it could be concluded that PFA can generate significant changes in the chemical composition of Carménère wine. Additionally, it is recommended to carry out more studies to determine the behavior of the results in a longer period of time.

# ÍNDICE

	<b>Página</b>
1. INTRODUCCIÓN .....	1
1.1 Hipótesis .....	2
1.2 Objetivo .....	2
2. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA .....	3
2.1. Producción de vino en Chile .....	3
2.2. Variedad Carménère .....	3
2.3. Vinificación .....	4
2.4. Propiedades organolépticas del vino .....	5
2.4.1 Color en vinos .....	5
2.5. Propiedades químicas del vino .....	5
2.5.1. Composición fenólica en vinos .....	5
2.5.2 Acidez en vinos .....	5
2.6. Tecnología en vinos .....	6
2.7. Plasma frío atmosférico (PFA) .....	6
2.7.1. Plasma frío de descarga eléctrica de alto voltaje y el vino .....	7
3. MATERIALES Y MÉTODOS .....	9
3.1. Ubicación del estudio .....	9
3.2. Vino .....	9
3.3. Equipo de plasma frío .....	9
3.4. Espectrofotómetro .....	9
3.5. Ebulómetro .....	9
3.5. Otros materiales .....	9
3.6. Diseño experimental y metodología .....	10
3.7. Determinaciones analíticas .....	11
3.7.2. Efecto del PFA sobre el color .....	14
3.8. Análisis estadístico .....	14
4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....	15
4.1. Experimento 2: Efecto de los tratamientos con plasma frío atmosférico sobre las características químicas en vino Carménère .....	15

4.2. Experimento 2: Efecto de los tratamientos con plasma sobre las características cromáticas en vino Carménère.....	20
4.3. Efecto de los tratamientos con flujo de aire sobre las características químicas en vino Carménère .....	22
4.4. Efecto de los tratamientos con flujo de aire sobre las características cromáticas en vino Carménère .....	23
4.5. Análisis del peso de las placas.....	24
4.6. Análisis de la temperatura .....	25
4.7. Análisis del grado alcohólico .....	28
5. CONCLUSIÓN .....	29
6. BIBLIOGRAFÍA .....	30
7. ANEXOS .....	34



## ÍNDICE DE CUADROS

	<b>Páginas</b>
<b>Cuadro 3.1.</b> Tratamientos del experimento 1 en vino Carménère.....	10
<b>Cuadro 3.2.</b> tratamientos del experimento 2 en vino Carménère.....	10
<b>Cuadro 4.2.1</b> Influencia de la duración del tratamiento de plasma frío atmosférico sobre las características cromáticas en vino tinto Carménère.....	20
<b>Cuadro 4.3.1.</b> Influencia de la duración del tratamiento de flujo de aire sobre las características fenólicas, pH, acidez titulable y sólidos solubles en vino tinto Carménère.....	22
<b>Cuadro 4.4.1.</b> Influencia de la duración del tratamiento con flujo de aire sobre las características organolépticas en vino tinto Carménère.....	23
<b>Cuadro 4.7.1.</b> Promedios de las muestras de vino tinto Carménère sometidas a ebulloimetría.....	28

## ÍNDICE DE FIGURAS

	<b>Página</b>
<b>Figura 3.1.</b> Vino Carménère expuesto a la aplicación de plasma frío atmosférico (PFA).....	11
<b>Figura 3.2.</b> Ubicación de las partes componentes del ebulómetro.....	13
<b>Figura 3.3.</b> Anillo interno del caldero cónico del ebulómetro.....	14
<b>Figura 4.1.1.</b> Contenido de sólidos solubles en vino Carménère tratado con plasma frío atmosférico....	15
<b>Figura 4.1.2.</b> Contenido de pH en vino Carménère tratado con plasma frío atmosférico.....	16
<b>Figura 4.1.3.</b> Contenido de acidez titulable en vino Carménère tratado con plasma frío atmosférico.....	17
<b>Figura 4.1.4</b> Contenido de fenoles (izquierda) y color en 280 nm (derecha) en vino Carménère tratado con plasma frío atmosférico.....	18
<b>Figura 4.2.1.</b> Intensidad del color en vino Carménère tratado con plasma frío atmosférico.....	21
<b>Figura 4.4.1.</b> Contenido de intensidad del color en vino Carménère tratado con flujo de aire.....	23
<b>Figura 4.5.1.</b> Peso de las placas Petri con vino Carménère antes y posterior a la aplicación de plasma frío atmosférico.....	25
<b>Figura 4.5.2.</b> Peso de las placas Petri con vino Carménère antes y posterior a la aplicación de flujo de aire.....	25
<b>Figura 4.6.1.</b> Temperatura promedio de muestras de vino Carménère antes y posterior a la aplicación de plasma frío atmosférico.....	26
<b>Figura 4.6.2.</b> Temperatura promedio de muestras de vino Carménère antes y posterior a la aplicación de flujo de aire.....	27
<b>Figura 4.7.1.</b> Comparación del promedio de grado alcohólico en vino Carménère.....	27

## ÍNDICE DE ANEXOS

	<b>Página</b>
<b>Anexo 7.1.</b> Cuadro de la influencia de la duración del tratamiento con plasma frío atmosférico sobre las características fenólicas, pH, acidez titulable y sólidos solubles en vino tinto Carménère.....	34
<b>Anexo 7.2.</b> Figura con contenido de sólidos solubles en vino Carménère tratado con flujo de aire.....	34
<b>Anexo 7.3.</b> Figura con contenido de pH en vino Carménère tratado con flujo de aire .....	35
<b>Anexo 7.4.</b> Figura con contenido de acidez titulable en vino Carménère tratado con flujo de aire.....	35
<b>Anexo 7.5.</b> Figura con contenido de fenoles en vino Carménère tratado con flujo de aire.....	36

## 1. INTRODUCCIÓN

En los últimos años, el vino chileno se ha encaminado entre los países con mayor prestigio y calidad a nivel mundial, exportando 8,5 millones de hectolitros de vino en el año 2020, siendo superado por Francia (13,6 millones de hectolitros), España (20,2 millones de hectolitros) e Italia (20,8 millones de hectolitros) (OIV, 2021). En el primer semestre del 2021, las exportaciones nacionales de vino llegaron a 270,2 millones de litros, por un valor total de USD 598 millones, representando un alza del 3,1% en volumen y un 8,5% en valor en lo que respecta al mismo periodo de 2020 (ODEPA, 2021).

Para mantener un alto estándar a nivel mundial, la industria vitivinícola chilena debe buscar nuevas alternativas para el mejoramiento de sus vinos, implementando nuevas tecnologías y tratamientos que permitan mejorar la calidad y rentabilidad del producto (Pimentel y Quiroz, 2018). Algunos ejemplos de lo anterior son el uso de tecnologías para lograr estabilización microbiana (ej. radiaciones ultravioletas, ultrasonidos, rayos infrarrojos, actinización, rayos x, radiofrecuencias, radiaciones electrónicas), estabilidad oxidativa (ej. tratamientos de frío), por nombrar solo algunos (Lukić et al., 2019). Además, muchos consumidores actuales de vino buscan una bebida natural, segura y saludable, con bajas o nulas concentraciones de conservantes químicos (Costanigro et al., 2014), y el uso de nuevas tecnologías de procesamiento podrían contribuir a satisfacer dichos requerimientos.

El plasma frío atmosférico (PFA) es una tecnología no térmica de procesamiento de alimentos, diseñada con el fin de inactivar microorganismos patógenos y mejorar la inocuidad alimentaria (Niemira, 2012). El PFA es un gas ionizado que consta de una gran variedad de iones positivos y negativos, radicales libres y partículas como electrones y fotones (Misra et al., 2016). Esta tecnología es recomendada para la inhibición microbiana durante el procesamiento de alimentos en los cuales no se recomienda la exposición a las altas temperaturas (Nehra et al., 2008). En el caso de la aplicación de PFA en la producción de vinos, no hay estudios que investiguen esta tecnología sobre los efectos que provoca en las características químicas y sensoriales de los vinos (Lukić et al., 2019).

Algunos estudios sobre la aplicación de PFA en jugos de frutas han demostrado que provoca numerosos cambios, tanto físicos como químicos, incluyendo la composición de compuestos fenólicos, reteniendo e incluso mejorando su calidad (Vukušić, 2016). En vinos, el primer atributo observado por un consumidor es el color, el cual tiene una gran influencia en la elección y percepción final del producto (Parpinello et al., 2009). El color del vino no depende solo de la composición inicial de la baya de uva, sino también de las reacciones químicas que ocurrieron como resultado de su proceso de elaboración y conservación (Sacchi et al., 2005).

Un grupo complejo de moléculas muy determinantes para la calidad del vino son los compuestos fenólicos (Ribéreau-Gayon et al., 2000), por cuanto participan directa o indirectamente sobre el color, sabor y aroma (Toshihiko, 2007). Además, estos sirven como sustratos primarios para la oxidación del vino y son determinantes en su capacidad de envejecimiento (Oliveira et al., 2011).

### **1.1 Hipótesis**

La aplicación de plasma frío atmosférico (PFA), utilizando flujo de aire, provoca cambios significativos en la composición química del vino Carménère.

### **1.2 Objetivo**

Evaluar el efecto de la aplicación de plasma frío atmosférico (PFA) sobre la concentración de fenoles totales, sólidos solubles, pH, acidez titulable y color de un vino Carménère.

## **2. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA**

### **2.1. Producción de vino en Chile**

Durante las últimas temporadas, Chile se ha posicionado entre los principales exportadores de vino a nivel mundial, aportando con un 8% de las exportaciones mundiales. Principalmente, las exportaciones van dirigidas a países como China (17%), Brasil (11%), Reino Unido (10%), Holanda (8%), Estados Unidos (8%), Japón (8%), Corea del Sur (7%), Canadá (4%), Irlanda (3%) y México (2%), el 23% restante va a otros países (ODEPA, 2021).

En los últimos años, Chile cuenta con aproximadamente 145.500 hectáreas de vides destinadas a producción vinífera, de las cuales 53.800 hectáreas se concentran en la Región del Maule, seguida por la Regiones del Libertador Bernardo O'Higgins con 45.000 hectáreas y la Metropolitana con 11.500 hectáreas, de las cuales el 73,6% están destinadas a producción de variedades de tintos y 26,4% a producción de variedades blancas (ODEPA, 2019). Los vinos exportados con denominación de origen en el periodo enero – abril 2021 alcanzaron 136,9 millones de litros, lo que se traduce en USD 457,8 millones, por su parte los vinos a granel llegaron a los 113,4 millones de litros con un valor de USD 96,7 millones y los de la categoría vinos en envases llegaron a los 972 mil litros con un valor de USD 4 millones (ODEPA, 2021).

Dada a la importancia comercial y cultural de su producción, es necesario el desarrollo de estudios e innovación tecnológica que permitan el mejoramiento de los procesos de elaboración del vino para salvaguardar su calidad y de esta manera, contribuir a la potenciación del desarrollo comercial del vino.

### **2.2. Variedad Carménère**

Según el Catastro Vitícola Nacional del Servicio Agrícola y Ganadero del año 2019, se reportaron 10.732 hectáreas plantadas de la variedad tinta Carménère. Las exportaciones de vino Carménère con denominación de origen durante el periodo enero – abril del año 2021 fueron de 9.194 litros con un valor de 33.104 millones de USD (ODEPA, 2021).

La variedad Carménère produce bayas de un color negro azulado, de un tamaño medio, esféricas con un sabor herbáceo casi pirazínico, de racimos pequeños a medianos, sueltos con algún grado de corredura, posee un alto potencial de acumulación de azúcares, con una alta concentración de taninos, de colores muy intensos (Pszczółkowski, 2004). Dado a su característica acumulación de

azúcares, es una variedad que se suele cosechar con alta sobre madurez, esto para evitar caracteres herbáceos en el vino (Belancic et al., 2003).

### **2.3. Vinificación**

El vino es el producto agroindustrial complejo derivado de los múltiples factores de su preparación, partiendo desde el tipo de suelo de su cultivo, las condiciones climáticas, la variedad de uva y las prácticas vinícolas que le fueron aplicadas (Bisson, 2001).

En el proceso de elaboración del vino destacan la fermentación alcohólica, fermentación maloláctica y el envejecimiento. La fermentación alcohólica es el proceso en el cual las levaduras provocan la transformación de azúcares provenientes del mosto en etanol, CO<sub>2</sub> y una serie de otros metabolitos minoritarios (Puerta, 2002). En la gran mayoría de los vinos tintos se da lugar a la fermentación maloláctica (segunda fermentación), la cual es llevada a cabo gracias a las bacterias lácticas, en este proceso se produce la desacidificación del vino mejorando su calidad y logrando estabilidad microbiana (Bordons y Reguant, 2013). Por su parte, el envejecimiento provoca un efecto fundamental en el aroma, gusto y aspecto del vino. Durante esta etapa de la vinificación, se producen algunas reacciones químicas que implican transformaciones de ácidos, azúcares y compuestos fenólicos (McKay et al., 2008). En general, estos procesos son capaces de generar cambios en el vino tales como evoluciones de color, cambios en los compuestos orgánicos, reducción en la astringencia y amargor, dando como resultado un vino más complejo, con un color más interesante y llamativo visualmente, mejor sabor y astringencia, y aroma más agradable (Bordons y Reguant, 2013).

En las últimas décadas, las empresas vitivinícolas han estado en la búsqueda de innovaciones para creaciones de vinos únicos, que sean atractivos para el consumidor, por este motivo están en estudio nuevas metodologías de fabricación, las cuales permitan la obtención de vinos con propiedades únicas, que posean características organolépticas distintivas que pongan en ventaja al producto entre la competencia y, además, responda a las demandas del consumidor (Küster et al., 2011).

## **2.4. Propiedades organolépticas del vino**

### **2.4.1 Color en vinos**

El color es la carta de presentación del vino, la turbidez y la tonalidad del vino entregan información de la elaboración, la variedad empleada y su envejecimiento, además de motivar o disgustar al consumidor (Lepe y Barrado, 2015).

El color de los vinos se determina fundamentalmente por los pigmentos que proviene de la baya, entre los cuales destacan las antocianinas. Como resultado de las reacciones de los compuestos reactivos como la adición, condensación y polimerización, el color de los vinos, sobre todo los envejecidos, se debe casi exclusivamente a compuestos fenólicos poliméricos (González-Neves et al., 2003).

## **2.5. Propiedades químicas del vino**

### **2.5.1. Composición fenólica en vinos**

Los compuestos fenólicos son considerados constituyentes esenciales y los principales responsables de algunas de las propiedades organolépticas del vino, incluyendo sensaciones bucales como astringencia, sabores como el amargo, y el color de estos (Seddon y Downey, 2008; Mercurio et al., 2007; Preys et al., 2006; Gawel, 1998). También son responsables de la capacidad antioxidante (Canas et al., 2008; Harberston y Spayd, 2006) y actúan como reservorios importantes para reaccionar con oxígeno y como sustratos en las reacciones de pardeamiento (Li et al., 2008; Zamora, 2003; Zoecklein et al., 2000).

Los compuestos fenólicos se clasifican en “no flavonoides y flavonoides”. Los no flavonoides incluyen a los ácidos fenoles y estilbenos, los flavonoides por su parte incluyen los flavonoles, antocianinos y flavan-3-oles. Dentro de la familia de los flavonoides, las antocianinas son los que juegan el papel más importante en la coloración del vino tinto, ya que son los responsables directos del color rojo azulado de la piel de las uvas tintas y naturalmente del color tinto del vino (Cheynier et al., 2000).

### **2.5.2 Acidez en vinos**

La acidez es un atributo de gran valor en los vinos, puesto que de su nivel depende gran parte el equilibrio gustativo. El nivel de acidez presente en el vino es dependiente de dos parámetros, la acidez fija, la cual se debe a los ácidos orgánicos que están presentes en la uva; el tartárico, málico y cítrico, y, por otra parte, la acidez volátil, la cual es originada durante la vinificación, en donde se



forman cantidades limitadas de ácido acético, y en la fermentación maloláctica donde se transforma el ácido málico en ácido láctico, mejorando así, la sensación gustativa (Tenorio et al., 2014). El pH mide la fuerza ácida de los componentes ácidos del vino o mosto, su valor generalmente varía entre los 3,0 y 4,0. La determinación del pH en el mosto y vino sirve como una medida complementaria de la acidez total, ya que permite la medición de la fuerza que poseen los ácidos contenidos en el jugo (Ramírez, 2017). La estabilidad de un vino, su proceso de fermentación maloláctica, el sabor ácido, color, potencial redox y relación de sulfuroso libre y total están altamente relacionados al pH en el vino, incluso, la velocidad a la cual ocurren los procesos oxidativos estaría relacionados al pH (Paladino et al., 2008).

## **2.6. Tecnología en vinos**

En el mundo del vino, la investigación para el mejoramiento de la calidad del vino va en alza, tanto en el terreno de la viticultura como en el de la enología, donde todos los esfuerzos apuntan a obtener vinos de calidad, por lo que comprender los procesos involucrados en su producción, y sus formas de mejoramiento se vuelven imprescindible. El empleo de nuevas tecnologías e instrumental abre la posibilidad de estudiar en más detalle los procesos enológicos (López-Rituerto et al., 2009) e intervenirlos de modo de volverlos más eficientes, o como formas de mejorar la calidad de los productos.

## **2.7. Plasma frío atmosférico (PFA)**

El plasma frío atmosférico (PFA) es una tecnología de desinfección relativamente nueva en el área de procesos de alimentos (Niemira y Sites, 2008), es descrito como un gas parcial o completamente ionizado, el cual posee propiedades eléctricas, químicas y físicas características (Petitpas et al., 2007). Diferentes tecnologías aplican variaciones de plasma, bajo diferentes atmósferas tanto a presión atmosférica normal como con vacío parcial. Existen diversos gases para la ionización tales como el aire, el nitrógeno, o alguna mezcla que contenga algún gas noble como argón, neón o helio. El plasma también posee diversas fuentes de energía las cuales pueden ser electricidad, microondas o láser (Niemira y Gutsol, 2011).

El PFA y el campo de interacción que posee con los componentes del vino ha sido poco investigado, especialmente lo que sucede con los fenoles (Elez Garofulić, 2015). El gas utilizado en el PFA es mezclado con aire ambiente, por lo que reactivos de nitrógeno (peroxinitrito) y oxígeno (radicales peroxilo, radicales hidroxilos, superóxido, oxígeno singlete) son inevitables de formar. Por otra parte, los polifenoles actúan como antioxidantes protectores de las células contra los reactivos anteriormente mencionados y sus dañinos efectos. Por lo tanto, probablemente los polifenoles tengan una interacción con las especies reactivas propias del plasma durante el tratamiento (Haenen

et al., 1997; Elez Garofulić et al., 2015; Hu et al., 1995, Vanacker et al., 1995), influyendo de una manera positiva o negativa en los jugos.

Algunos ejemplos de su aplicación han sido demostrados en jugos de frutas, en los cuales dio lugar a numerosos cambios físicos y químicos de compuestos fenólicos, incluso demostrando mejoría de su calidad general (Vukušić, 2016). Además, se demostró un aumento en el contenido total de fenoles (Herceg et al., 2016) y antocianinas (Bursać Kovačević et al., 2016) en jugo de granada posterior al tratamiento con plasma de argón, así como también, aumento del contenido de antocianinas y ácido fenólico posterior a la aplicación de plasma frío en jugo de cereza Marasca (Elez Garofulić et al., 2015).

### **2.7.1. Plasma frío de descarga eléctrica de alto voltaje y el vino**

Respecto a la aplicación de plasma frío y los efectos que produce en los vinos, un estudio sobre el impacto del plasma de descarga eléctrica de alto voltaje sobre las características cromáticas y la composición fenólica de los vinos tintos y blancos demostró que los tratamientos con plasma sí generan un impacto en la estabilidad fenólica de los vinos, pero sin una alteración significativa en el color (Lukić et al., 2019). En una comparación con los vinos no tratados, los que fueron expuestos a plasma de descarga eléctrica de alto voltaje mostraron cambios leves en sus características cromáticas y reducción en sus compuestos fenólicos, tanto en vinos tintos como en blancos, incluyendo fenoles, antocianinas y taninos totales. Un factor que se hizo notar en importancia fueron los diferentes tiempos de aplicación (3, 5 y 10 min), los cuales contribuyeron a la variación total de todo el conjunto de datos en comparación con las frecuencias aplicadas de 60, 90 y 120 Hz (Lukić et al., 2019).

Basado en los estudios y las posibilidades que se presentan para la aplicación de PFA en vinos, posee una gran potencialidad como alternativa a las actuales tecnologías de envejecimiento ya utilizadas en la industria vitivinícola, pero la influencia del plasma frío en la calidad global del vino debe ser examinados con más detalle (Lukić et al., 2019).

#### **2.7.1. Plasma frío a presión atmosférica para sanitización en barricas de roble.**

Las barricas de roble se utilizan en el mundo vinícola debido a su aporte en aromas, sensación gustativa y estabilidad física – química a los vinos (Bretón, 2014). Se utilizó plasma frío a presión atmosférica (APCP) para la sanitización e higienización de duelas de madera de roble. El experimento consistió en la inoculación de tres microorganismos que estropean el vino, las bacterias *Pediococcus pentosaceus* y *Ectobacter pasteurianus* y una levadura *Brettanomyces bruxellensis*. Posterior a su inoculación, fueron expuestos al dispositivo de APCP en un tratamiento de 12 fases

con potencias de 90 W y 500 W y gases de plasma (aire, nitrógeno y argón). Como resultados de esta experimentación, se logró llevar a cabo una inactivación total de la levadura *Brettanomyces bruxellensis* posterior a los tratamientos de aire y nitrógeno, siendo el MO más sensible al plasma. Con lo que respecta a las bacterias, demostraron una menor inactivación en comparación a sus controles. Durante el proceso, las especies reactivas de oxígeno y nitrógeno generadas parecen tener el papel principal en la inactivación microbiana. Como punto final, no fueron identificadas modificaciones morfológicas en la superficie de la madera posterior a los tratamientos de plasma frío a presión atmosférica (Sainz – García et al., 2021).

### **3. MATERIALES Y MÉTODOS**

#### **3.1. Ubicación del estudio**

El estudio se llevó a cabo en las instalaciones del laboratorio de enología, ubicado en la Universidad de Talca, Campus Lircay, Talca, Chile (35°24'23.8"S 71°38'10.7"W).

#### **3.2. Vino**

El vino se elaboró en el laboratorio de enología de la Facultad de Ciencias Agrarias de la Universidad de Talca, utilizando vino de la variedad Carménère, producido con uvas obtenidas de la viña Santa Carolina, cosecha 2020.

#### **3.3. Equipo de plasma frío**

Se utilizó un equipo de plasma frío atmosférico (PFA) (Surface SAP 2, Brasil), con una potencia de 1.500 W, voltaje de 15 kV, corrientes de 5 amperios y un flujo de aire de 10 L/min. Los electrodos estaban posicionados a una distancia de 5 cm del mesón y a 4,5 cm de la superficie de la muestra (ver Figura 3.1.).

#### **3.4. Espectrofotómetro**

Las determinaciones espectrofométricas fueron realizadas en un lector de placas UV-vis Epoch de la marca Biotek (Winooski, VT, USA). Este equipo permitió las lecturas de absorbancias que van desde los 200 hasta los 900 nm. En este experimento se utilizaron placas de polipropileno de 96 pozos (Agilent, Chicopee, MA, USA).

#### **3.5. Ebulómetro**

Para la determinación de la graduación alcohólica, antes y después de la aplicación de PFA, se utilizó un ebulómetro (Ing. C. Bullio, San Prospero, Italia). Este equipo permitió la determinación directa y con facilidad del grado alcohólico de vinos de una manera sencilla y rápida.

#### **3.5. Otros materiales**

Para la medición de la masa de las muestras se utilizó una balanza analítica AUX 120 (Labslab, Shimadzu, Japón).

Para medir el nivel de acidez en el vino se utilizó un pH – metro HANNA HI2002 (Woonsocket, Estados Unidos).

Los valores de los sólidos solubles fueron obtenidos a través de un refractómetro manual (Milwaukee MA871, España), los cuales fueron entregados en °Brix.

### 3.6. Diseño experimental y metodología

#### Experimento 1

El primer experimento preliminar se desarrolló con 15 placas Petri, con un contenido de 10 mL de vino Carménère en cada una, las que fueron sometidas a diferentes tratamientos de plasma frío atmosférico (Cuadro 3.1).

**Cuadro 3.1.** Tratamientos evaluados en el experimento 1, utilizando vino Carménère.

TRATAMIENTO	TIEMPO DE APLICACIÓN DE PFA (min)	REPETICIONES
Control	0	3
Plasma 1	0,5	4
Plasma 2	1	4
Plasma 3	3	4

#### Experimento 2

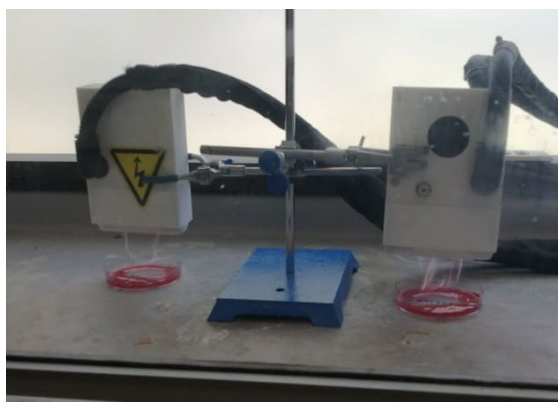
Posterior a la primera prueba, se observó una pérdida de volumen de las muestras tratadas con PFA, por lo que para el segundo experimento se optó por trabajar con un volumen de 20 mL de vino por cada placa. Además, se decidió evaluar si el flujo de aire del equipo de PFA, o la acción combinada de plasma y flujo de aire eran responsables de la pérdida de volumen en las placas, por lo que dicha variable también se incluyó en este experimento (Cuadro 3.2).

**Cuadro 3.2.** Tratamientos evaluados en el experimento 2, utilizando vino Carménère.

TRATAMIENTO	TIEMPO DE APLICACIÓN Y TIPO DE FLUJO	REPETICIONES
Control	0	9
Plasma 1	0,5 min bajo plasma	12
Aire 1	0,5 min bajo flujo de aire	3
Plasma 2	1 min bajo plasma	12
Aire 2	1 min bajo flujo de aire	3
Plasma 3	3 min bajo plasma	12
Aire 3	3 min bajo flujo de aire	3

Como se puede observar en el cuadro 3.2, existe una diferencia entre el número de repeticiones de los tratamientos con plasma frío atmosférico y los tratamientos con flujo de aire que se explica por la situación actual de emergencia sanitaria por COVID – 19, y el tiempo reducido con el que se contó para realizar los experimentos.

Posterior a la aplicación de PFA, cada una de las muestras, fue sometida a determinaciones de pH, sólidos solubles, acidez titulable, fenoles totales y color, con los procedimientos que se describen a continuación.



**Figura 3.1.** Vino Carménère en placas Petri expuesto a la aplicación de plasma frío atmosférico (PFA).

### 3.7. Determinaciones analíticas

**Determinación de sólidos solubles:** Los sólidos solubles fueron determinados a través de un refractómetro manual (Milwaukee MA871, España). De cada una de las muestras (posterior a aplicación de PFA) fue extraída una alícuota de vino y depositada sobre el prisma del refractómetro, los valores fueron entregados en °Brix.

**Determinación de pH:** Para determinar pH se utilizó un pH-metro de la marca Hanna Instruments (Woonsocket, Estados Unidos). Posterior a la aplicación de PFA, las muestras eran depositadas en un vaso precipitado de 50 mL donde se introdujo el electrodo, manteniendo las muestras en agitación.

**Determinación de fenoles totales:** Este análisis se llevó a cabo con el método de Folin – Ciocalteu adaptado para volúmenes pequeños. Este método permitió analizar el contenido de fenoles totales del vino, basándose en la capacidad que poseen los fenoles para reaccionar con agentes oxidantes, este reactivo contiene molibdato y tungstato sódico, los cuales reaccionan con

todo tipo de fenol formando complejos fosfomolibdico – fosfotúngstico (Peterson, 1979). El producto de estas reacciones de óxido reducción de los metales tiene una coloración azul, y dependiendo de la intensidad del color esta será proporcional a la concentración de fenoles de la muestra (Waterhouse, 2002).

El proceso que se utilizó se resume a continuación:

- Se diluyeron 50  $\mu\text{L}$  de vino en 450  $\mu\text{L}$  de agua destilada en un tubo de 0,5 mL.
- En un tubo de 2 mL se agregaron 20  $\mu\text{L}$  de la muestra diluida.
- Luego, se agregaron 1,58 mL de agua destilada, 100  $\mu\text{L}$  de reactivo de Folin (HC60433201, Merck KGaA, Darmstadt, Alemania) se agito y se esperó 2 min.
- Finalmente se agregaron 300 $\mu\text{L}$  de  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  (A0807892 508, Merck KGaA, Darmstadt, Alemania).
- Se agitaron las muestras y se dejaron en la estufa universal (UN55, Memmert, Alemania) a 40°C durante 30 minutos.

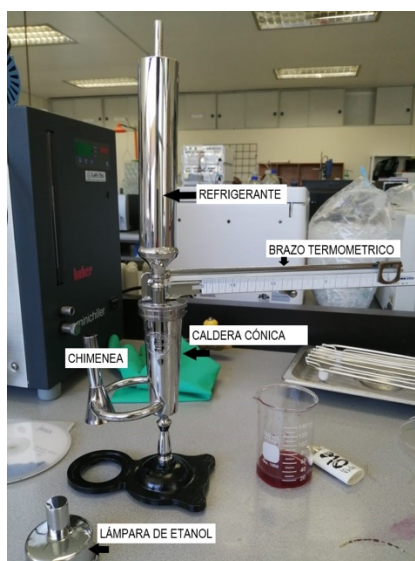
Pasados 30 min, se sacaron las muestras de la estufa, de cada muestra fueron tomados 300  $\mu\text{L}$  y se les leyó la absorbancia a 765 nm en una placa de 96 pocillos. Cada absorbancia fue reemplazada en la curva de calibración de ácido gálico y se corrigió por factores de dilución de 10 y 50.

**Curva de calibración ácido gálico para el análisis de fenoles totales:** Se preparó una solución madre de ácido gálico de concentración 500 mg/L de etanol al 10% en agua. Se utilizó ácido gálico de 98% de pureza (Merck, Darmstadt, Alemania). A partir de la solución madre se prepararon diferentes diluciones de ácido gálico en los rangos 0, 50, 100, 200, 300 y 500 mg/L en agua. Luego, en tubos de 2 mL fueron agregados 20  $\mu\text{L}$  de cada dilución, 1,58 mL de agua destilada y 100  $\mu\text{L}$  de reactivo de Folin, se agitó y se esperó 2 min. Finalmente, se les agregó 300  $\mu\text{L}$  de  $\text{Na}_2\text{CO}_3$ , se agitaron y se dejaron en el horno a 40°C durante 30 min. Se midió la absorbancia a 765 nm utilizando como blanco el punto 0 mg/L de ácido gálico.

**Determinación de grado alcohólico:** Este análisis se llevó a cabo con el fin de determinar la posible pérdida de etanol luego de la aplicación de PFA al vino Carménère. Para esto, se utilizó un instrumento de ebullometría (Ing. C. Bullio, Italia). Se prepararon 20 placas Petri con un contenido de 30 mL de vino Carménère (10 placas control y 10 placas tratamiento). Cada una de las repeticiones fue tratada durante 3 min con plasma frío atmosférico para posteriormente ser analizadas en el ebullómetro.

El proceso que se utilizó para la determinación de etanol por medio del ebullómetro fue el siguiente:

Se depositaron 40 mL de agua en la caldera cónica hasta el anillo interno (figura 3.3), de modo que, al atornillar el brazo termométrico, el termómetro no toque el agua. Luego, se encendió la lámpara llena con etanol bajo la chimenea (figura 3.2). Posteriormente se esperó hasta que saliera un vapor blanco del refrigerante y la columna de mercurio se detuviera, para luego mover la regla graduada al punto de ebullición del agua. Este se llama punto cero. Después se lavó cuidadosamente la caldera con vino (20 mL), luego se depositaron 40 mL de vino Carménère hasta el anillo interno superior que, al atornillar, el termómetro pudiese tocar el líquido. Luego, se llenó el tubo refrigerador con agua fría (figura 3.2), se encendió nuevamente la lámpara bajo la chimenea y se esperó hasta que el tubo refrigerador tuviera una temperatura similar a la de la mano. Terminando se leyó en la regla directamente el grado alcohólico.



**Figura 3.2.** Ubicación de las partes componentes del ebullómetro.





**Figura 3.3.** Anillo interno del caldero cónico del ebulómetro.

### **3.7.2. Efecto del PFA sobre el color**

Con el fin de evaluar el efecto de la aplicación del plasma frío atmosférico (PFA) sobre el color de los vinos expuestos al tratamiento con PFA y tratamientos control, se empleó un espectrofotómetro UV-vis Epoch. Para la obtención de color, se registraron los espectros 280, 316, 375, 420, 520 y 620 nm.

### **3.8. Análisis estadístico**

El estudio consistió en dos experimentaciones cuyos ensayos fueron realizados con un diseño completamente al azar, DCA (Cuadros 3.1 y 3.2). Cada unidad experimental constó de una placa Petri con 20 mL de vino Carménère. Para el análisis de los datos, se realizó un análisis de varianza (ANDEVA) simple, con el software Statgraphics Technologies, Inc. (Virginia, , Estados Unidos), cuyos resultados fueron graficados con el software Excel. La prueba estadística que se usó para determinar diferencias entre los tratamientos fue la prueba de rangos múltiples de Tukey (HSD).

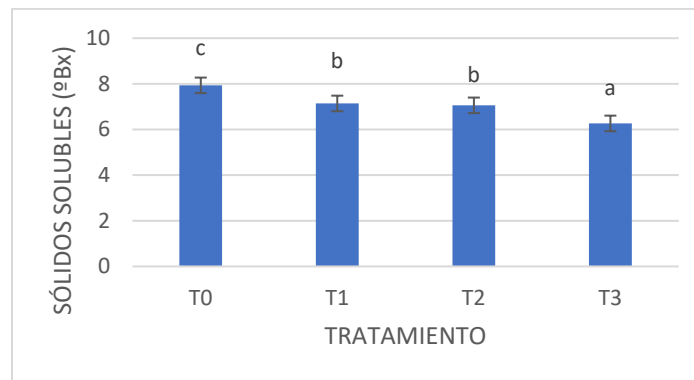
## 4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 4.1. Experimento 2: Efecto de los tratamientos con plasma frío atmosférico sobre las características químicas en vino Carménère

#### Sólidos solubles

La medición de los sólidos solubles es uno de los principales análisis que se deben realizar durante el proceso de elaboración de vinos, particularmente en la fruta y el jugo pues su concentración es importante para la fermentación alcohólica (Sepúlveda, 2009). El grado alcohólico está directamente relacionado con la cantidad de azúcares que se presentan en el vino o la baya, por lo que una baja en la concentración de sólidos solubles en la fruta generará un bajo grado alcohólico del vino (Catalán, Moreno y Rojas, 2019). En un vino terminado, los sólidos solubles sirven como una medida de referencia del contenido de azúcares residuales, sales, y ácidos del vino.

En la figura 4.1.1. se puede observar las concentraciones de sólidos solubles obtenidos a partir de la comparación de diferentes tiempos de tratamiento con PFA y un tratamiento control que no fue expuesto a PFA.



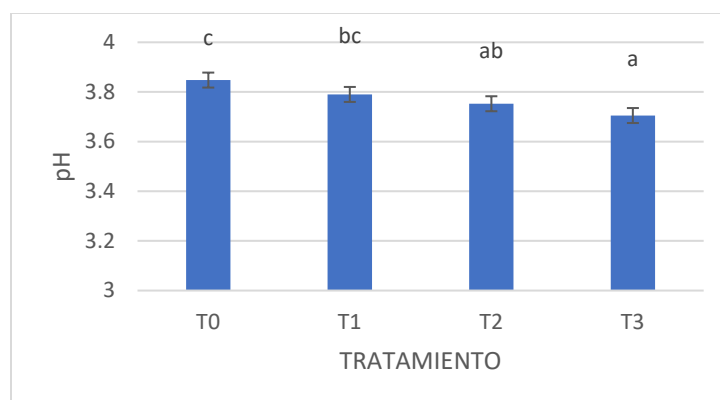
**Figura 4.1.1.** Contenido de sólidos solubles en vino Carménère tratado con plasma frío atmosférico, donde T0: control, T1: 30 segundos con plasma frío atmosférico, T2: 1 minuto con plasma frío atmosférico, T3: 3 minutos con plasma frío atmosférico. Letras minúsculas distintas indican diferencia estadísticamente significativa entre los tratamientos de acuerdo con la prueba de Tukey ( $p < 0,05$ ).

El tiempo de exposición al plasma frío atmosférico demostró un efecto determinante en la concentración de sólidos solubles en comparación al control sin exposición al PFA, presentando una disminución en las concentraciones de sólidos en el tratamiento expuesto a 3 min, con una media de 6,2° Brix, menor al contenido promedio del T0 de 7,9° Brix.

Los sólidos solubles están compuestos principalmente por sales, ácidos y azúcares (Yanes, 2018). La glucosa, fructosa y ácidos orgánicos tales como el tartárico y el málico son los principales sólidos solubles en el jugo de uva (Buglione y Lozano, 2002). Aunque no hay muchos estudios que avalen o hayan investigado el efecto del plasma sobre los sólidos solubles, la disminución en su concentración puede estar explicada por fenómenos de hidrólisis de moléculas, o su precipitación debida a la disminución del volumen de solvente (agua: etanol) derivado de su volatilización. Como los sólidos solubles están compuestos en parte por ácidos, la disminución de la concentración de estos compuestos puede estar relacionada a la solubilización de los radicales hidroxilos que se generan al momento de generarse las descargas filamentosas del plasma frío (Pankaj et al., 2017).

### Acidez real (pH)

En este caso, también se observaron diferencias estadísticamente significativas entre los tratamientos (Anexo 7.1), donde aquel expuesto a un mayor tiempo de PFA (T3) presentó una mayor acidez con un promedio de 3,7 en pH, a diferencia del tratamiento T0, con un valor promedio de 3,85.



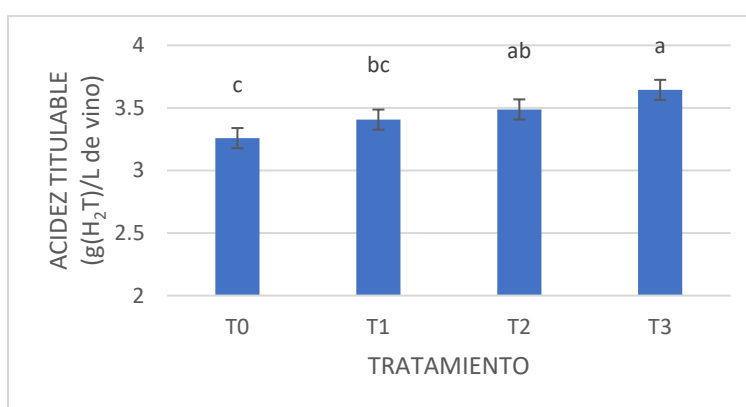
**Figura 4.1.2.** pH en vino Carménère tratado con plasma frío atmosférico, donde T0: control, T1: 30 segundos con plasma frío atmosférico, T2: 1 minuto con plasma frío atmosférico, T3: 3 minutos con plasma frío atmosférico. Letras minúsculas distintas indican diferencia estadísticamente significativa entre los tratamientos de acuerdo con la prueba de Tukey ( $p < 0,05$ ).

Los tratamientos con plasma frío atmosférico produjeron una acidificación en las muestras de vino Carménère en comparación al tratamiento control (Figura 4.1.2). Los resultados de los análisis de varianza realizados indican diferencias significativas entre los tratamientos, a medida que el tiempo de exposición iba aumentando, reflejado en una disminución del pH (Anexo 7.1). A diferencia de estos resultados, Sainz – García et al., (2019) observaron que en sus muestras que fueron tratadas con plasma frío a presión atmosférica durante 1, 3 y 5 minutos presentaron un aumento significativo en el pH, lo que podría desencadenar el deterioro microbiano del vino.

Si bien un menor pH o una alta acidez, produce una baja en el riesgo de alteración debido a microorganismos (Peralvo y Raquel, 2012), estos resultados deben analizarse con cautela por cuanto también podrían explicarse por la variación de volumen observada luego del tratamiento con plasma.

### Acidez titulable

En este caso, se demostró que las muestras que fueron expuestas a un mayor tiempo de exposición a PFA aumentaron significativamente su valor de acidez titulable en comparación con las muestras que no tuvieron exposición al plasma (Figura 4.1.3).



**Figura 4.1.3.** Acidez titulable en vino Carménère tratado con plasma frío atmosférico, donde T0: control, T1: 30 segundos con plasma frío atmosférico, T2: 1 minuto con plasma frío atmosférico, T3: 3 minutos con plasma frío atmosférico. Letras minúsculas distintas indican diferencia estadísticamente significativa entre los tratamientos de acuerdo con la prueba de Tukey ( $p < 0,05$ ).

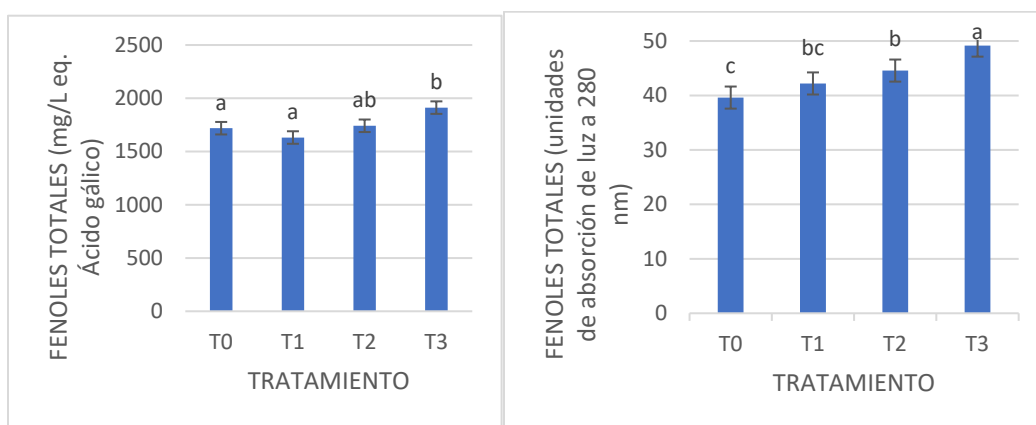
La acidez total o titulable es una característica sensorial importante en el vino, y está directamente relacionada con el nivel de pH. Estos dos parámetros son inversamente proporcionales, lo que significa que, si el vino es más ácido, o su pH es menor, la cantidad de ácidos contenidos será mayor (Lujan, 2017).

Lo antes mencionado explica claramente el fenómeno visible en la Figura 4.1.2 y 4.1.3. De acuerdo con los análisis ANDEVA realizados, se puede observar que T0 es el tratamiento que posee el pH más alto (promedio de 3,85) y posee la menor concentración de ácidos en el vino (media de 3,26 g(H<sub>2</sub>T) /L de vino). Junto con esto se observa que a medida que aumenta el tiempo de aplicación de plasma frío atmosférico, va disminuyendo el valor de T1, T2 y T3 (3,79; 3,75 y 3,70 respectivamente), la concentración de los ácidos va aumentando en el mismo orden (T1 = 3,41; T2 = 3,48 y T3 = 3,64 g(H<sub>2</sub>T) /L de vino). Por lo que mayor duración del tiempo de aplicación de PFA podría originar cambios significativos en los resultados.

Por el contrario, los autores Pankaj et al., (2017) observaron en jugo de uva blanca una disminución en el contenido de acidez titulable, esta condición puede estar explicada por el hecho de que el tiempo de aplicación del plasma frío atmosférico de alto voltaje fue de 4 min, esta disminución de acidez puede deberse a la disolución de OH generado durante las descargas del plasma.

El efecto de la pérdida de volumen del vino y su relación con los resultados observados se discutirá más adelante.

#### Fenoles totales por Folin-Ciocalteu y absorbancia a 280 nm



**Figura 4.1.4.** Fenoles totales (mg/L eq. Ácido gálico) (izquierda) y fenoles totales (unidades de absorción de luz a 280 nm) (derecha) en vino Carménère tratado con plasma frío atmosférico, donde T0: control, T1: 30 segundos con plasma frío atmosférico, T2: 1 minuto con plasma frío atmosférico, T3: 3 minutos con plasma frío atmosférico. Letras minúsculas distintas indican diferencia estadísticamente significativa entre los tratamientos de acuerdo con la prueba de Tukey ( $p < 0,05$ ).

En relación con el contenido de compuestos fenólicos, el análisis ANDEVA mostró que hubo una influencia significativa (Anexo 7.1) de la duración del tratamiento con PFA, presentando concentraciones mayores de fenoles en los tratamientos de 3 minutos, con una media de 1.912,28 mg EAG/L en comparación a las muestras que no fueron expuestas al PFA con una media de 1.718,94 mg EAG/L. Para los vinos, existe una medición alternativa indirecta del contenido de fenoles, que corresponde a la lectura de absorbancia a 280 nm (polifenoles totales). En este caso, la lectura de absorbancia tiene un comportamiento similar a la medida de fenoles totales por el método de Folin-Ciocalteu, obteniendo una diferencia significativa entre los tratamientos, con el tratamiento de 3 minutos presentando la media más alta.

El índice de contenido de fenoles totales en el vino se basa en la capacidad de los fenólicos de reaccionar con los agentes oxidantes, pero también expresa el aporte de estos compuestos a la

actividad antioxidante de la muestra, por lo que su aumento es positivo en la calidad del vino (Sainz – García et al., 2019). Los mismos autores observaron un aumento significativo en los fenoles totales posterior a la aplicación de plasma de argón.

Lukić et al. (2019) observaron una influencia significativa de la duración del tratamiento y frecuencia sobre los fenoles totales. En su estudio observó una disminución de los TP, lo cual podría deberse a la posible degradación de estos compuestos debido al mecanismo del plasma. Hay estudios que demuestran que el plasma provoca cavitación, emisiones de luz, radicales libres y ondas de choque, en donde estos procesos físicos y especies reactivas degradan muchos de los compuestos del vino (Locke et al., 2006). Elez Garafulic et al. (2015), evaluaron el efecto del plasma sobre el jugo de marasca de cereza ácida, en donde explica que una corta exposición del tratamiento con plasma disocia partículas que llevan a un aumento de compuestos fenólicos.

Esto significa que la duración del tratamiento es un factor que afecta los fenoles, aplicaciones demasiado prolongadas (cerca de los 10 min) provocan una disminución del contenido de fenoles, por lo que es recomendable la utilización de periodos cortos de PFA (Lukić et al., 2019).

La composición química del vino con sus numerosos componentes, la complejidad química del plasma y su interacción requieren una investigación mayor para comprender sus mecanismos de reacción y cómo influyen estos en los compuestos fenólicos.

## 4.2. Experimento 2: Efecto de los tratamientos con plasma sobre las características cromáticas en vino Carménère

De acuerdo con los resultados del análisis estadístico realizado, se pudieron observar diferencias significativas entre los tratamientos para cada una de las absorbancias analizadas. En general, el tratamiento T3, presentó diferencias significativas con el control y el tratamiento T1.

**Cuadro 4.2.1.** Influencia de la duración del tratamiento de plasma frío atmosférico sobre las características cromáticas en vino tinto Carménère.

Tratamiento	316 nm <sup>(z)(w)</sup>	375 nm <sup>(z)(x)</sup>	420 nm <sup>(z)</sup>	520 nm <sup>(z)</sup>	620 nm <sup>(z)</sup>
T0	20,75 ± 0,89 a	4,59 ± 0,14 a	2,57 ± 0,09 a	1,72 ± 0,04 a	0,29 ± 0,02 a
T1	23,66 ± 2,74 b	5,17 ± 0,58 b	3,03 ± 0,21 b	1,75 ± 0,07 a	0,33 ± 0,01 b
T2	23,82 ± 2,24 b	5,38 ± 0,58 bc	3,21 ± 0,24 bc	1,99 ± 0,08 b	0,38 ± 0,03 c
T3	26,87 ± 3,22 c	5,90 ± 0,40 c	3,35 ± 0,18 c	2,68 ± 0,10 c	0,44 ± 0,03 d
Significancia (p-valor) <sup>(y)</sup>	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000

Datos presentados como valor promedio de las repeticiones analíticas con desviación estándar. ANDEVA para comparar los datos.

<sup>(z)</sup> Promedios en una columna seguidos por la misma letra no difieren estadísticamente; Test Tukey ( $p \leq 0,05$ ).

<sup>(x)</sup> Análisis en base a Kruskal – Wallis.

<sup>(w)</sup> Análisis en base a datos transformados a la función  $\text{LOG}_{10}(\text{C316})$

<sup>(y)</sup>  $p > 0,05$  = no significativo;  $p \leq 0,05$  = significativo

Los resultados obtenidos de las características cromáticas, 316 nm (ácidos fenólicos), 375 nm (flavonoles), 420, 520 y 620 nm (intensidad de color, figura 4.2.1) al comparar las muestras tratadas y control, se puede observar que, las muestras expuestas a 3 min de PFA tuvieron un ligero aumento en la escala cromática,

Una de las razones por las que se presenta un aumento en las concentraciones cromáticas se puede deber a la pérdida parcial de volumen, provocando un cambio en la relación solución – soluto, en donde la pérdida de solución provoca una concentración del soluto, y como resultado una mayor intensidad de color. Lukić et al. (2019), mencionan que un aumento en la intensidad de color, en general, es bueno para la calidad del vino.

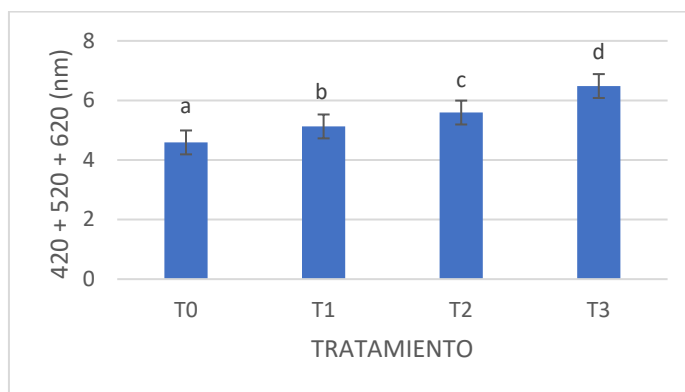
Se ha informado que la variación de pH tiene una relación directa con la capacidad de co-pigmentación que tienen las antocianinas en los vinos tintos, en donde los valores de pH cercanos a 3 tienen una mayor magnitud de co-pigmentación (Gordillo et al., 2012), lo que está de acuerdo con nuestros resultados, el PFA provocó una disminución del pH en las muestras de vino Carménère, por lo que, el aumento de la intensidad de color (CI) puede estar explicada por el cambio de pH.

También, se plantea que las altas temperaturas ayudan a la ruptura de células vegetales lo que produce una mayor capacidad de extracción de pigmentos (Tiwari, O'Donnell y Cullen, 2009), aunque por nuestra parte, el aumento de la intensidad del color puede estar explicado con la presencia de

pequeñas partículas en el jugo que serían disociadas por el tratamiento con PFA (Elez Garofulić et al., 2015).

Kovačević et al. (2016) plantea que los mejores resultados obtenidos con la aplicación de plasma fueron 3 min de tratamiento con 5 cm<sup>3</sup> de volumen y un flujo mínimo de gas, mejorando el color del jugo de granada en comparación con las muestras no tratadas. Elez Garofulić et al. (2015), mencionan que es inevitable la degradación de antocianinas y ácidos fenólicos en exposiciones prolongadas a tratamiento con plasma, tratamientos cortos (de mínima duración) a un buen volumen de jugo no provoca degradaciones negativas.

En resumen, este estudio demostró que el tratamiento con plasma frío atmosférico tuvo una influencia positiva sobre el cambio de color en el vino tinto Carménère.



**Figura 4.2.1.** Intensidad del color en vino Carménère tratado con plasma frío atmosférico, donde T0: control, T1: 30 segundos con plasma frío atmosférico, T2: 1 minuto con plasma frío atmosférico, T3: 3 minutos con plasma frío atmosférico. Letras minúsculas distintas indican diferencia estadísticamente significativa entre los tratamientos de acuerdo con la prueba de Tukey ( $p < 0,05$ ).



### 4.3. Efecto de los tratamientos con flujo de aire sobre las características químicas en vino Carménère

En la siguiente sección, son presentados los resultados de la experimentación de la aplicación de flujo de aire a las muestras de vino tinto Carménère.

De acuerdo con los resultados obtenidos a partir de ANDEVA en conjunto con la prueba de Tukey, para cada uno de los análisis realizados (azúcar, pH, acidez y fenoles), se observaron algunos cambios significativos (Cuadro 4.3.1). Los resultados obtenidos con la aplicación del flujo de aire mostraron una tendencia similar a las muestras que fueron tratadas con PFA, aunque no tuvieron tan alta significancia.

**Cuadro 4.3.1.** Influencia de la duración del tratamiento con flujo de aire sobre las características fenólicas, pH, acidez titulable y sólidos solubles en vino tinto Carménère.

Tratamiento	SS (°Bx) <sup>(z)</sup>	AR (pH) <sup>(z)</sup>	AT (g(H <sub>2</sub> T)/L de vino) <sup>(z)(x)</sup>	FT (mg/L eq. Ácido gálico) <sup>(z)</sup>	FT (unidades de absorción de luz a 280 nm) <sup>(z)</sup>
T0	7,93 ± 0,10 c	3,85 ± 0,05 b	3,26 ± 0,09 b	1718,94 ± 145,90 a	39,61 ± 1,56 a
T1A	7,33 ± 0,12 b	3,78 ± 0,05 ab	3,40 ± 0,09 ab	1745,33 ± 21,67 a	42,59 ± 1,72 ab
T2A	7,13 ± 0,12 b	3,78 ± 0,03 ab	3,40 ± 0,04 ab	1754,78 ± 58,25 a	44,68 ± 3,29 b
T3A	6,80 ± 0,20 a	3,74 ± 0,07 a	3,55 ± 0,30 a	1797,00 ± 16,67 a	46,10 ± 3,54 b
Significancia (p-valor) <sup>(y)</sup>	0,0000	0,0239	0,0246	0,7718	0,0023

Datos presentados como valor promedio de las repeticiones analíticas con desviación estándar. ANDEVA para comparar los datos.

<sup>(z)</sup> Promedios en una columna seguidos por la misma letra no difieren estadísticamente; Test Tukey ( $p \leq 0,05$ ). SS: sólidos solubles, AR: acidez real, AT: acidez titulable, FT: fenoles totales.

<sup>(x)</sup> Análisis en base a datos transformados a la función (acidez titulable)<sup>-5</sup>.

<sup>(y)</sup>  $p > 0,05$  = no significativo;  $p \leq 0,05$  = significativo

Se encontraron diferencias estadísticamente significativas para los sólidos solubles, pH, acidez titulable y absorbancia a 280 nm, pero no así para los fenoles totales por el método de Folin-Ciocalteu. Los análisis anteriormente mencionados coinciden que las mayores diferencias se presentan entre los tratamientos T0 y T3A. En los análisis de sólidos solubles, pH y acidez titulable no se presentaron diferencias estadísticas entre los tratamientos T1A y T2A. En lo que respecta a fenoles, según el análisis estadístico realizado, no se encontraron diferencias estadísticamente significativas, por lo que la aplicación de flujo de aire no es suficiente para provocar cambios en los fenoles.

#### 4.4. Efecto de los tratamientos con flujo de aire sobre las características cromáticas en vino Carménère

De acuerdo con los resultados obtenidos, la aplicación de flujo de aire provocó diferencias significativas entre los tratamientos. En el Cuadro 4.4.1 se pueden observar las diferencias estadísticas que se presentan principalmente entre T0 y T3A, señalando que la aplicación de flujo de aire si provoca un cambio en las características cromáticas del vino Carménère, pero no tan notorias como fue con el plasma frío atmosférico. Esto es visible en los rangos de 375 y 520 nm, ya que T1A, T2A y T3A no poseen diferencias estadísticas, lo que se puede traducir en que el tiempo de aplicación del flujo de aire no es capaz de explicar por si solo el cambio cromático que presentaron las muestras de vino tinto.

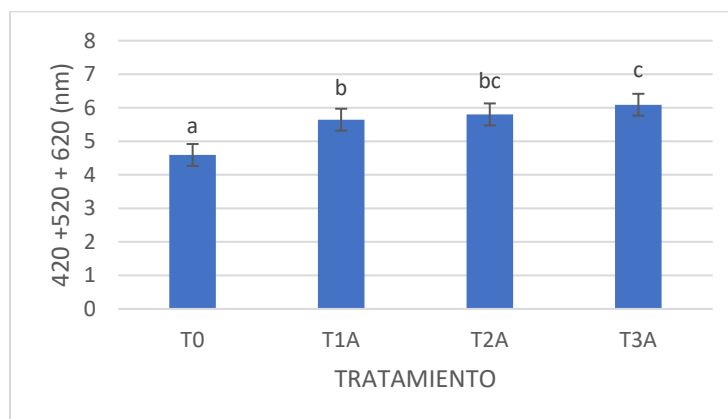
**Cuadro 4.4.1.** Influencia de la duración del tratamiento con flujo de aire sobre las características cromáticas en vino tinto Carménère.

Tratamiento	316 nm <sup>(z)</sup>	375 nm <sup>(z)</sup>	420 nm <sup>(z)</sup>	520 nm <sup>(z)</sup>	620 nm <sup>(z)</sup>
T0	20,75 ± 0,89 a	4,59 ± 0,14 a	2,57 ± 0,09 a	1,72 ± 0,04 a	0,29 ± 0,02 a
T1A	21,73 ± 0,79 ab	5,08 ± 0,10 b	2,97 ± 0,09 b	2,34 ± 0,11 b	0,33 ± 0,01 ab
T2A	23,62 ± 0,36 bc	5,08 ± 0,04 b	3,08 ± 0,08 bc	2,39 ± 0,05 b	0,33 ± 0,01 ab
T3A	24,43 ± 1,63 c	5,26 ± 0,05 b	3,25 ± 0,14 c	2,48 ± 0,07 b	0,35 ± 0,02 b
Significancia (p-valor) <sup>(y)</sup>	0,0002	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000

Datos presentados como valor promedio de las repeticiones analíticas con desviación estándar. ANDEVA para comparar los datos.

<sup>(z)</sup> Promedios en una columna seguidos por la misma letra no difieren estadísticamente; Test Tukey ( $p \leq 0,05$ ).

<sup>(y)</sup>  $p > 0,05$  = no significativo;  $p \leq 0,05$  = significativo



**Figura 4.4.1.** Intensidad del color en vino Carménère tratado con flujo de aire, donde T0: control, T1A: 30 segundos con flujo de aire, T2A: 1 minuto con flujo de aire, T3A: 3 minutos con flujo de aire. Letras minúsculas distintas indican diferencia estadísticamente significativa entre los tratamientos de acuerdo con la prueba de Tukey ( $p < 0,05$ ).

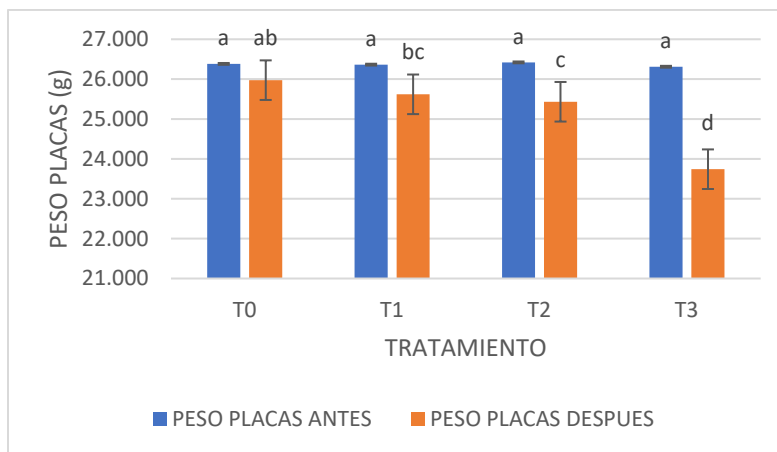
En cuanto al análisis de la intensidad de color sometida al flujo de aire, se puede observar que existió una diferencia estadísticamente significativa entre los tratamientos (Figura 4.4.1). Se logra identificar claramente que 3 min de flujo de aire son capaces de aumentar los niveles de color en el vino, pasando de una media de 4,59 en T0 a 6,09 en T3A. Sin embargo, no es capaz de alcanzar los niveles logrados con la aplicación de plasma frío atmosférico en el cual la media del T3 llegó a un valor de 6,48.

Todo esto se puede traducir en que el flujo de aire si provoca cambios en la coloración del vino, llegando a valores similares del PFA. No obstante, cuando es utilizado por sí solo no es capaz de explicar todos los cambios provocados en las muestras, por lo que se necesita una investigación más a fondo de los tratamientos, tanto individualmente como en conjunto.

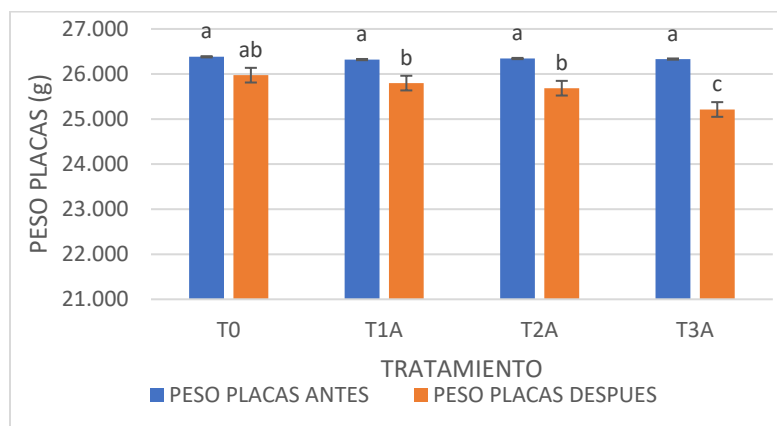
#### **4.5. Análisis del peso de las placas**

La pérdida de volumen de las placas, luego del tratamiento con PFA, fue cuantificada de forma indirecta a partir del peso de las muestras antes y después de la aplicación del PFA. Se observaron diferencias significativas en los volúmenes de vino Carménère tratadas por 3 min de plasma continuo, comenzando con un volumen promedio de 26,311 g y decayendo a 23,741 g de muestra. Incluso en las muestras control se observó una disminución de masa desde 26,382 g de muestra a 25,974 g. Debido a lo anterior, se infirió que la pérdida de vino podría estar siendo provocada por el flujo de aire que expulsa la máquina al momento de estar realizando la aplicación.

Por lo anteriormente mencionado, se realizó una prueba adicional donde solo fue aplicado el flujo de aire de equipo de PFA. En el ensayo de flujo de aire, se observó un cambio volumétrico, pero no tan significativo como pudo ser observado en las muestras tratadas con PFA. En las figuras 4.6.1 y 4.6.2 se observa que el flujo de aire provoca pérdida de volumen, pero no justifica completamente lo observado cuando el PFA fue aplicado, lo que sugiere que el plasma por sí solo contribuye a una parte de las diferencias observadas.



**Figura 4.5.1.** Peso de las placas Petri con vino Carménère antes y posterior a la aplicación de plasma frío atmosférico, donde T0: control, T1: 30 segundos con plasma frío atmosférico, T2: 1 minuto con plasma frío atmosférico, T3: 3 minutos con plasma frío atmosférico. Letras minúsculas distintas indican diferencia estadísticamente significativa entre los tratamientos de acuerdo con la prueba de Tukey ( $p < 0,05$ ).



**Figura 4.5.2.** Peso de las placas Petri con vino Carménère antes y posterior a la aplicación de flujo de aire, donde T0: control, T1A: 30 segundos con flujo de aire, T2A: 1 minuto con flujo de aire, T3A: 3 minutos con flujo de aire. Letras minúsculas distintas indican diferencia estadísticamente significativa entre los tratamientos de acuerdo con la prueba de Tukey ( $p < 0,05$ ).

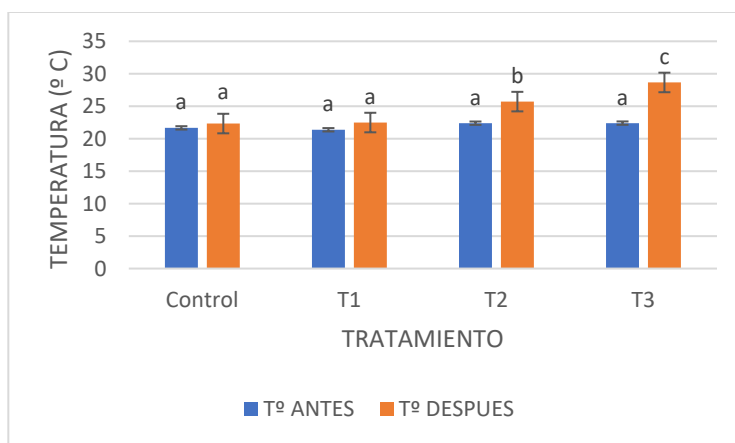
#### 4.6. Análisis de la temperatura

Como al pesar las muestras, se pudo verificar que se estaba presentando una pérdida volumétrica, se intentó buscar todos los factores posibles que podrían estar afectando en este fenómeno. Para poder identificar si la pérdida de volumen estaba influenciada por los aumentos de temperatura, se realizó un registro de dicha variable a partir del uso de un termómetro infrarrojo antes y después de ser expuestas a PFA y a flujo de aire.

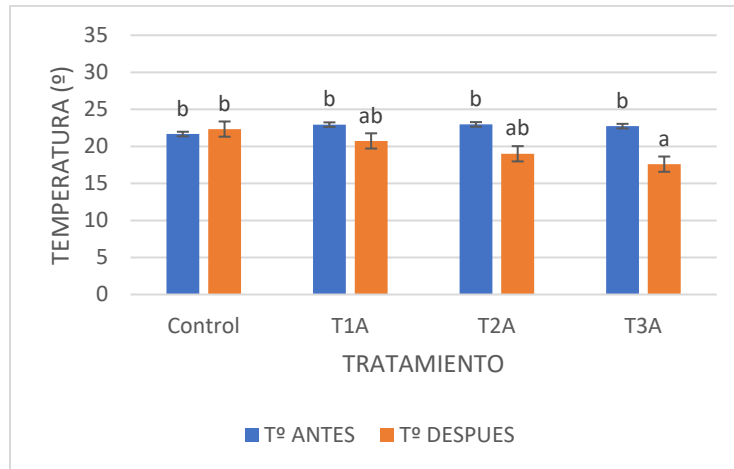
Para el caso de las placas expuestas al plasma frío atmosférico, a medida que iba aumentando el tiempo de exposición, el aumento de la temperatura se hizo aún más notorio, pasando de medias

de 21,6; 21,3; 22,3 y 22,4°C a 22,3; 22,5; 25,7 y 28,6°C (T0, T1, T2 Y T3 respectivamente). Por otra parte, las placas que fueron expuestas al flujo de aire, se realizó el mismo método aplicado anteriormente, pesando las placas antes y después del tratamiento, pero contrario al PFA, el flujo de aire provocó una disminución en las temperaturas de las muestras, pasando de promedios de 21,6; 22,9; 22,9 y 22,7°C a temperaturas de 22,3; 20,7; 19,0 y 17,6°C (T0, T1A, T2A Y T3A respectivamente).

Por los resultados obtenidos anteriormente se puede concluir que los dos tratamientos, PFA y flujo de aire tuvieron una incidencia en la pérdida de volumen de las muestras, esto se puede corroborar observando las figuras 4.5.1 y 4.5.2, sin embargo, las mayores pérdidas fueron presenciadas en con plasma frío atmosférico. Esto puede deberse a que el plasma provocó un aumento en la temperatura que pudo haber influido en una mayor evaporación o volatilización de algunas sustancias.



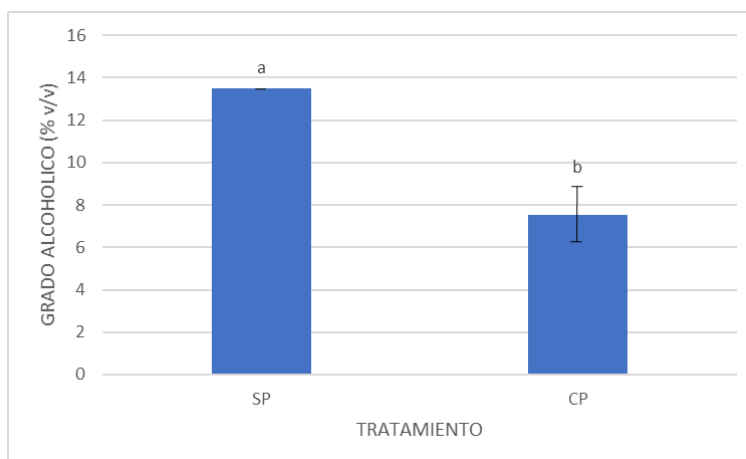
**Figura 4.6.1.** Temperatura promedio de muestras de vino Carménère antes y posterior a la aplicación de plasma frío atmosférico, donde T0: control, T1: 30 segundos con plasma frío atmosférico, T2: 1 minuto con plasma frío atmosférico, T3: 3 minutos con plasma frío atmosférico. Letras minúsculas distintas indican diferencia estadísticamente significativa entre los tratamientos de acuerdo con la prueba de Tukey ( $p < 0,05$ ).



**Figura 4.6.2.** Temperatura promedio de muestras de vino Carménère antes y posterior a la aplicación de flujo de aire, donde T0: control, T1A: 30 segundos con flujo de aire, T2A: 1 minuto con flujo de aire, T3A: 3 minutos con flujo de aire. Letras minúsculas distintas indican diferencia estadísticamente significativa entre los tratamientos de acuerdo con la prueba de Tukey ( $p < 0,05$ ).

Lo ocurrido en este ítem es interesante para un estudio futuro, ya que el plasma frío atmosférico y el flujo de aire pudieran ser responsables de los cambios observados en las muestras. Sin embargo, todavía se requiere de un estudio más a fondo para dilucidar las razones específicas que explicarían algunos de los cambios químicos observados en las muestras.

#### 4.7. Análisis del grado alcohólico



**Figura 4.7.1.** Comparación del promedio de grado alcohólico en vino Carménère, donde CP: vino tratado con PFA, SP: vino sin tratar. Letras minúsculas distintas indican diferencia estadísticamente significativa entre los tratamientos de acuerdo con la prueba de Tukey ( $p < 0,05$ ).

**Cuadro 4.7.1.** Promedios de grado alcohólico de las muestras de vino tinto Carménère sometidas a ebullición.

ETANOL	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	Muestra 4	Promedio + DE
SP	13,5	13,5	13,5	13,5	13,5 ± 0,00
CP	8,1	6,9	7,7	7,4	7,53 ± 0,51

Donde CP: vino tratado con PFA, SP: vino sin tratar, DE: desviación estándar.

Para identificar si la pérdida volumétrica que se presentó en las muestras fue a causa de la evaporación de etanol, se realizó una evaluación ebulométrica (Anexo 7.6). Para esto, el tratamiento se centró en un lote de ocho muestras, las cuales fueron examinadas en el ebulómetro sin exposición a plasma y las otras cuatro, examinadas luego de aplicarles 3 minutos de PFA.

Los resultados de los parámetros de grado alcohólico en promedio de las muestras con y sin aplicación de plasma se pueden observar en el cuadro 4.7.1. El contenido de etanol en las muestras control y tratadas varió significativamente después de 3 minutos de PFA.

Este resultado demostró que la pérdida volumétrica de las muestras si está relacionada con la pérdida de etanol que se produce en el vino tras la aplicación de plasma frío atmosférico, sin embargo, sólo explica un porcentaje de la pérdida de volumen, por lo que es necesario un mayor estudio de este fenómeno.

## 5. CONCLUSIÓN

De acuerdo con los resultados obtenidos, la aplicación de plasma frío atmosférico en un vino de la variedad Carménère generó cambios significativos en la composición fenólica, en el pH, en la concentración de azúcares y en la acidez, además de provocar cambios notorios en el color de las muestras, por lo que se puede concluir que el tratamiento con PFA permite generar cambios significativos en la composición química del vino.

Por otra parte, existen otros factores que se mantienen como una incógnita en esta investigación y que fueron apareciendo a medida que avanzaba la experimentación, tales como el cambio de volumen observado. El flujo de aire del PFA, por sí solo, que fue capaz de provocar cambios significativos en las muestras de vino tinto, probablemente debido a la evaporación y concentración de las muestras. Sin embargo, la magnitud de estos cambios (y la pérdida de volumen) no permiten explicar del todo la magnitud de las diferencias observadas cuando el PFA atmosférico fue utilizado en combinación con el flujo de aire.

Aunque se observaron cambios significativos y prometedores, es necesario realizar nuevas investigaciones que permitan reforzar las observaciones recogidas en este estudio.



## 6. BIBLIOGRAFÍA

Belancic, A., Contreras, P., Bordeu, E. & Agosín, E. 2003. "Aromas en vinos Carménère: Efecto de la fecha de cosecha". en IX Congreso Latinoamericano de Viticultura y Enología. Pontificia Universidad Católica de Chile, Santiago de Chile, Resumen 102: 63.

Bisson L. 2001. Factors Influencing Wine Quality. University of California at Davis, University Extension.

Bordons, A., & Reguant, C. 2013. Bioquímica de las bacterias lácticas del vino y la fermentación maloláctica. ACE Enología, 18, 13.

Bretón, P. 2014. Utilización de fragmentos de roble en los procesos fermentativos y durante el envejecimiento de vinos tintos (Doctoral dissertation, Universidad de La Rioja).

Buglione, M., & Lozano, J. 2002. Nonenzymatic browning and chemical changes during grape juice storage. Journal of Food Science, 67(4), 1538-1543.

Bursać Kovačević, D., Putnik, P., V., Pedisić, S., Režek Jambrak, A., & Herceg, Z. 2016. Effects of cold atmospheric gas phase plasma on anthocyanins and color in pomegranate juice. Food Chemistry, 190: 317–323.

Canas, S., Casanova, V., & Belchior, P. 2008. Antioxidant activity and phenolic content of Portuguese wine aged brandies. Journal of Food Composition and Analysis, 21: 623–633.

Catalán, R., Moreno, Y., & Rojas, M. 2019. Potencial vitícola y enológico de cultivares no tradicionales en la elaboración de vinos espumantes en la región del Maule (Doctoral dissertation, Universidad de Talca (Chile). Escuela de Agronomía.).

Cheyrier, V., Moutounet, M., & Sarni-Manchado, P. 2000. Los compuestos fenólicos. En: Flanzy, C. (Ed). Enología: Fundamentos científicos y tecnológicos. Mundi-prensa, Madrid, España. pp. 114–136.

Costanigro, M., Appleby, C., & Menke, S. 2014. The Wine Headache: Consumer Perceptions of Sulfites and Willingness to Pay for Non-Sulfited Wines. Food Quality and Preference, 31: 81–89.

Elez Garofulić, I., Režek Jambrak, A., Milošević, S., Dragović-Uzelac, V., Zorić, Z., & Herceg, Z. 2015. The effect of gas phase plasma treatment on the anthocyanin and phenolic acid content of sour cherry Marasca (*Prunus cerasus* var. Marasca) juice. LWT - Food Science and Technology, 62(1): 894–900.

Gawel, R. 1998. Red wine astringency: a review. Australian Journal of Grape and Wine Research, 4: 74–95.

González-Neves, G., Balado, J., Barreiro, L., Boichichio, R., Gatto, G., Gil, G., & Ferrer, M. 2003. Efecto de algunas prácticas de manejo del viñedo y de la vinificación en la composición fenólica y el color de los vinos tintos. In X Congresso Brasileiro de Viticultura e Enologia. Bento Goncalves, Brasil (pp. 3-5).

Gordillo, B., Rodríguez-Pulido, F. J., Escudero-Gilete, M. L., González-Miret, M. L., & Heredia, F. J. 2012. Comprehensive colorimetric study of anthocyanic copigmentation in model solutions. Effects of pH and molar ratio. Journal of agricultural and food chemistry, 60(11), 2896-2905.

Harberston, J., & Spayd, S. 2006. Measuring Phenolics in the Winery. *American Journal of Enology and Viticulture*, 57(3): 280–287.

Haenen, G., Paquay, J., Korthouwer, R., & Bast, A. 1997. Peroxynitrite scavenging by flavonoids. *Biochemical and Biophysical Research Communications*, 236: 591 – 593.

Hu, J., Calomme, M., Lasure, A., De Bruyne, T., Pieters, L., Vlietinck, A., & Berghe, D. 1995. Structure-activity relationship of flavonoids with superoxide scavenging activity. *Biological trace element research*, 47(1), 327-331.

Herceg, Z., Kovačević, D. B., Kljusurić, J. G., Režek, A., Zorić, Z., & Dragović, V. 2016. Gas phase plasma impact on phenolic compounds in pomegranate juice. *Food Chemistry*, 190, 665–672.

Kovačević, D., Putnik, P., Dragović-Uzelac, V., Pedisić, S., Jambrak, A. R., & Herceg, Z. 2016. Effects of cold atmospheric gas phase plasma on anthocyanins and color in pomegranate juice. *Food Chemistry*, 190, 317-323.

Küster, I., Vila, N., & Aldás, J. 2011. Brand Equity Innovation: el uso de las nuevas tecnologías en el sector del vino para el incremento del valor de marca. *Distribución y consumo*, (116), 67-67.

Lepe, J., & Barrado, A. 2015. *Levaduras para vinificación en tinto*. AMV Ediciones.

Li, H., Guo, A., & Wang, H. 2008. Mechanisms of oxidative browning of wine. *Food Chemistry*. 108: 1–13.

López-Rituerto, E., Avenosa, A., Busto, J., & Peregrina, J. 2009. Resonancia magnética nuclear en el vino. Seguimiento de las fermentaciones alcohólicas y malolácticas en vinos de diferentes subzonas de la Denominación de Origen Calificada. *La Rioja. Zubía*. 27: 203-219.

Locke, B., Sato, M., Sunka, P., Hoffmann, M., & Chang, J. 2006. Electrohydraulic discharge and nonthermal plasma for water treatment. *Industrial & engineering chemistry research*, 45(3), 882-905.

Lukić, K., Vukušić, T., Tomašević, M., Ćurko, N., Gracin, L., & Kovačević Ganić, K. 2019. The impact of high voltage electrical discharge plasma on the chromatic characteristics and phenolic composition of red and white Wines. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*. 53:70–77.

Lujan, A. 2017. Influencia de la concentración de bentonita sobre las propiedades fisicoquímicas en la elaboración de hidromiel.

McKay, M., Villiers, A., & Toit, W. 2008. Investigación sobre los factores que afectan el envejecimiento de los vinos.

Mercurio, M., Damberg, R., Herderich, M., & Smith, P. 2007. High throughput analysis of red wine and grape phenolics – adaptation and validation of methyl cellulose precipitable tannin assay and modified somers color assay to a rapid 96 well plate format. *Journal of Agriculture and Food Chemistry*, 55(12): 4651–4657.

Misra, N., Schlüter, O., & Cullen, P. (Eds.). 2016. *Cold plasma in food and agriculture: fundamentals and applications*. Academic Press.

Nehra, V.; Kumar, A.; Dwivedi, H 2008. Atmospheric non-thermal plasma sources. *International Journal of Engineering*, 2(1): 53–68.

Niemira, B., & Sites, J. 2008. Cold plasma inactivates *Salmonella Stanley* and *Escherichia coli*/O157:H7 inoculated on Golden Delicious apples. *Journal of Food Protection*, 71: 1357–1365.

Niemira, B., & Gutsol, A. 2011. Nonthermal plasma as a novel food processing technology. *Nonthermal processing technologies for food*, 272-288.

Niemira, B. 2012. Cold plasma decontamination of foods. *Annual Review of Food Science and Technology*, 3: 125–142.

Oficina de Estudios y Política Agraria (ODEPA). 2019. Catastro vitícola nacional. Ministerio de Agricultura, gobierno de Chile.

Oficina de Estudios y Política Agraria (ODEPA). 2021. Boletín del vino: producción, precios y comercio exterior. Avance a mayo de 2021. Ministerio de Agricultura, Gobierno de Chile. [En línea] Recuperado en: <<https://www.odepa.gob.cl>>. Consultado el 2 de junio del 2021.

Oliveira, C., Ferreira, A., De Freitas, V., & Silva, A. 2011. Oxidation mechanisms occurring in Wines. *Food Research International*, 44(5):1115–1126.

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

Pankaj, S., Wan, Z., Colonna, W., & Keener, K. 2017. Effect of high voltage atmospheric cold plasma on white grape juice quality. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 97(12), 4016-4021.

Parpinello, G., Versari, A., Chinnici, F., & Galassi, S. 2009. Relationship among Sensory Descriptors, Consumer Preference and Color Parameters of Italian Novello Red Wines. *Food Research International*, 42: 1389–1395.

Peralvo, T., & Raquel, E. 2012. Elaboración de vino de naranjilla (*Solanum quitoense*) utilizando tratamiento térmico y químico (Bachelor's thesis, Universidad Estatal Amazónica).

Petitpas, G., Rollier, J. Darmon, A., Gonzalez-Aguilar, J., Metkemeijer, R., & Fulcheri, L. 2007. A comparative study of non-thermal plasma assisted reforming technologies. *International Journal of Hydrogen Energy*, 32, 2848–2867.

Peterson, G. 1979. Review of the Folin protein quantitation method of Lowry, Rosebrough, Farr and Randall, *Analytical biochemistry*, 100 (2): 201-220.

Pimentel, C., & Quiroz, I. 2018. Chile en el mercado mundial del vino. *Revista Agronomía y Forestal UC*, 54: 52-55.

Preys, S., Mazerolles, G., Courcoux, P., Samson, U., Fischer, M., Hanafi, D., Bertrand, & Cheyner, V. 2006. Relationship between polyphenolic composition and some sensory properties in red wines using multiway analyses. *Analytica Chemical Acta*, 563: 126-136.

Puerta, A. 2002. Elaboración de vino. *Soluciones Prácticas*.

Pszczólkowski, T. 2004. La invención del cv. Carménère (*Vitis vinifera* L) en Chile, desde la mirada de uno de sus actores. *Universum* (Talca), 19(2), 150-165.

Ramírez, F. 2017. Estimación de la capacidad de consumo de oxígeno en vinos por medio de un respirómetro de elaboración propia. Memoria de título. Universidad de Talca. Chile. 37 p.

Ribéreau-Gayon, P., Glories, Y., Maujean, A., & Dubourdieu, D. 2000. Phenolic compounds. In: *The Chemistry of Wine Stabilization and Treatments*. John Willey & Sons Ltd. New York, The United States, pp. 129-185.

Sacchi, K., Bisson, L., & Adams, D. 2005. A Review of the Effect of Winemaking Techniques on Phenolic Extraction in Red Wines. *American Journal of Enology and Viticulture*, 56: 197–206.

Sainz-García, A., González-Marcos, A., Múgica-Vidal, R., Muro-Fraguas, I., Escribano-Viana, R., González-Arenzana, L., López-Alfaro, I., Alba-Elías, F., & Sainz-García, E. 2021. Application of atmospheric pressure cold plasma to sanitize oak wine barrels. *Food Science and Technology, LWT*, 139, 110509.

Sainz-García, E., López-Alfaro, I., Múgica-Vidal, R., López, R., Escribano-Viana, R., Portu, J., Alba-Elías, R. & González-Arenzana, L. 2019. Effect of the Atmospheric Pressure Cold Plasma Treatment on Tempranillo Red Wine Quality in Batch and Flow Systems. *Beverages*, 5(3), 50.

Seddon, T., & Downey, M. 2008. Comparison of analytical methods for the determination of condensed tannins in grape and skin. *Australian Journal of Grape and Wine Research*, 14: 54–61.

Sepúlveda, Á. 2009. Características de vinos tintos Pinot Noir, producidos con cepas autóctonas de *Saccharomyces cerevisiae* aisladas del Valle del Maule.

Tenorio, M., Mateos-Aparicio, I., de Pradena, J., García, M., Redondo, A., Villanueva, M., & Zapata, M. 2014. El vino y su análisis. Departamento de Nutrición y Bromatología II. Facultad de Farmacia. Universidad Complutense de Madrid. Madrid, España. 72 p.

Tiwari, B., O'Donnell, C., & Cullen, P. 2009. Effect of non-thermal processing technologies on the anthocyanin content of fruit juices. *Trends in Food Science & Technology*, 20(3-4), 137-145.

Toshihiko, S. 2007. Polyphenols as natural food pigments: Changes during food processing. *American Journal of Food Technology*, 2(7): 570–581.

Vanacker, S., Tromp, M., Haenen, G., Vandervijgh, W., & Bast, A. 1995. Flavonoids as scavengers of nitric oxide radical. *Biochemical and Biophysical Research Communications*, 214(3), 755-759.

Vukušić, T. 2016. Application of cold plasma in processing of fruit juices (Unpublished PhD thesis). Faculty of Food Technology and Biotechnology. Zagreb: University of Zagreb.

Waterhouse, A. 2002. Determination of Total Phenolics. *Current Protocols in Food Analytical Chemistry*, 1–8.

Yanes, V. 2018. Correlación existente entre el contenido de sólidos solubles totales y grado de acidez con las longitudes de ondas obtenidas mediante la espectroscopia Vis/NIR en la postcosecha del cultivo de la frutabomba (*Carica papaya* L.) (Doctoral dissertation, Universidad Central "Marta Abreu" de Las Villas. Facultad de Ciencias Agropecuarias. Departamento de Ingeniería Agrícola).

Zamora, F. 2003. Elaboración y crianza del vino tinto: Aspectos científicos y prácticos. Editorial Mundi-Prensa. Madrid, España. 225 p.

Zoecklein, B., Fugelsang, K., Gump, B., & Nury, F. 2000. Análisis y producción de vino. Editorial ACRIVIA, S.A., Zaragoza, España. 613 p.

## 7. ANEXOS

**Anexo 7.1.** Cuadro de la influencia de la duración del tratamiento con plasma frío atmosférico sobre las características fenólicas, pH, acidez titulable y sólidos solubles en vino tinto Carménère.

Tratamiento	SS (°Bx) <sup>(z)</sup>	AR (pH) <sup>(z)</sup>	AT (g(H <sub>2</sub> T)/L de vino) <sup>(z)(x)</sup>	FT (mg/L eq. Ácido gálico) <sup>(z)(w)</sup>	FT (unidades de absorción de luz a 280 nm) <sup>(z)(v)</sup>
T0	7,93 ± 0,10 c	3,85 ± 0,04 c	3,26 ± 0,09 c	1718,94 ± 145,89 a	39,61 ± 1,56 c
T1	7,14 ± 0,12 b	3,79 ± 0,06 bc	3,41 ± 0,14 bc	1631,44 ± 120,52 a	42,21 ± 2,57 bc
T2	7,06 ± 0,16 b	3,75 ± 0,06 ab	3,49 ± 0,15 ab	1741,72 ± 121,06 ab	44,57 ± 2,94 b
T3	6,27 ± 0,14 a	3,71 ± 0,05 a	3,64 ± 0,25 a	1912,28 ± 227,36 b	49,16 ± 4,78 a
Significancia (p-valor) <sup>(y)</sup>	0,0000	0,0000	0,0000	0,0012	0,0000

Datos presentados como valor promedio de las repeticiones analíticas con desviación estándar. ANDEVA para comparar los datos.

<sup>(z)</sup> Promedios en una columna seguidos por la misma letra no difieren estadísticamente; Test Tukey ( $p \leq 0,05$ ).

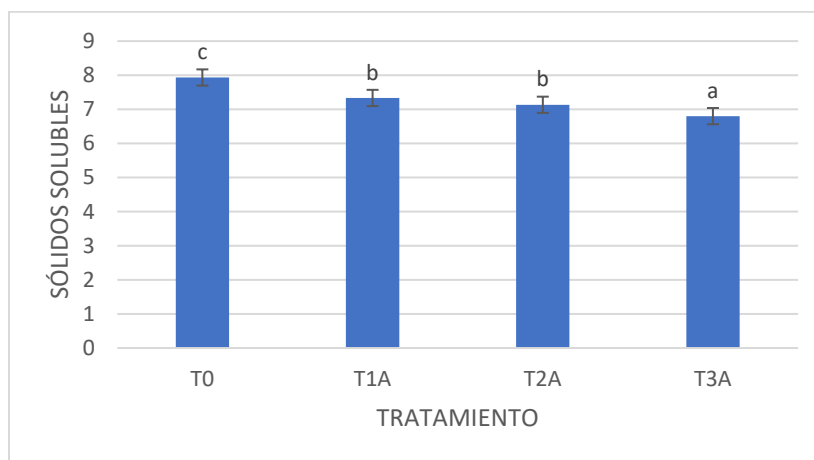
SS: sólidos solubles, AR: acidez real, AT: acidez titulable, FT: fenoles totales.

<sup>(x)</sup> Análisis en base a datos transformados a la función (acidez titulable)<sup>-3</sup>.

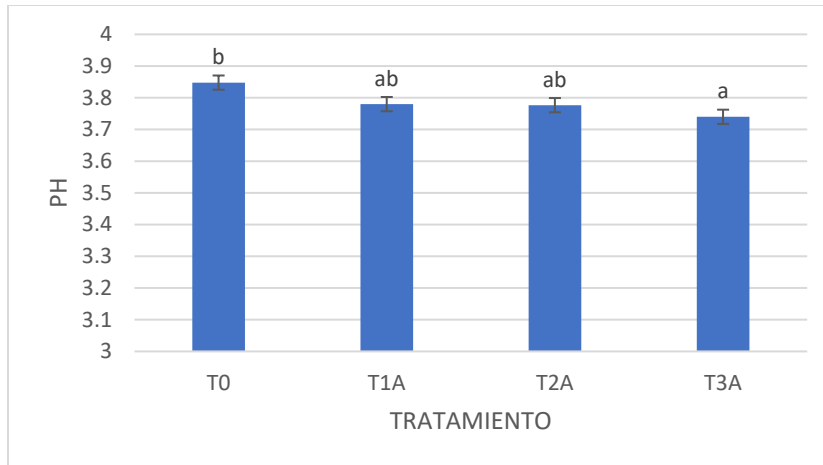
<sup>(w)</sup> Análisis en base a datos transformados a la función (fenoles)<sup>1/2</sup>.

<sup>(v)</sup> Análisis en base a datos transformados a la función (1/(280nm<sup>1/2</sup>)).

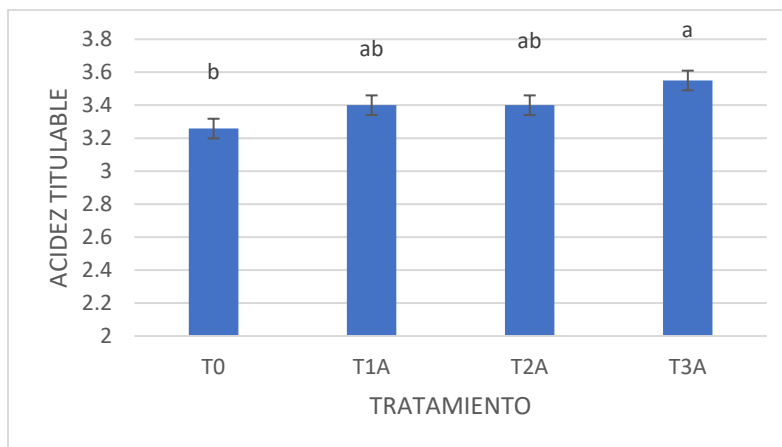
<sup>(y)</sup>  $p > 0,05$  = no significativo;  $p \leq 0,05$  = significativo



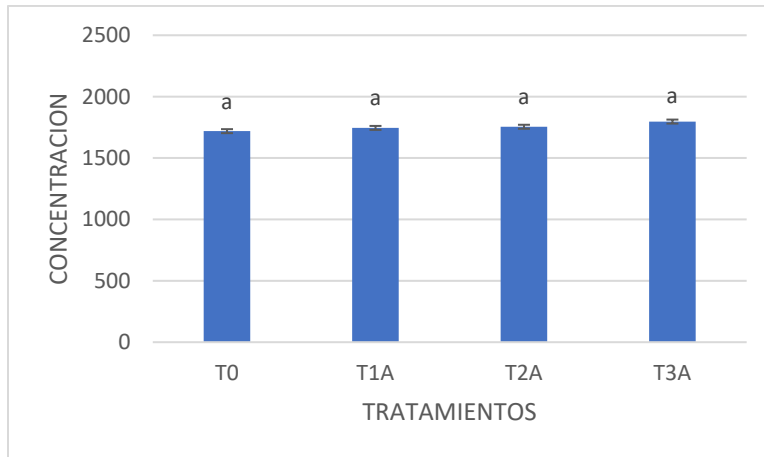
**Anexo 7.2.** Figura con contenido de sólidos solubles en vino Carménère tratado con flujo de aire, donde T0: control, T1A: 30 segundos con flujo de aire, T2A: 1 minuto con flujo de aire, T3A: 3 minutos con flujo de aire. Letras minúsculas distintas indican diferencia estadísticamente significativa entre los tratamientos de acuerdo con la prueba de Tukey ( $p < 0,05$ ).



**Anexo 7.3.** Figura con contenido de pH en vino Carménère tratado con flujo de aire donde T0: control, T1A: 30 segundos con flujo de aire, T2A: 1 minuto con flujo de aire, T3A: 3 minutos con flujo de aire. Letras minúsculas distintas indican diferencia estadísticamente significativa entre los tratamientos de acuerdo con la prueba de Tukey ( $p < 0,05$ ).



**Anexo 7.4.** Figura con contenido de acidez titulable en vino Carménère tratado con flujo de aire, donde T0: control, T1A: 30 segundos con flujo de aire, T2A: 1 minuto con flujo de aire, T3A: 3 minutos con flujo de aire. Letras minúsculas distintas indican diferencia estadísticamente significativa entre los tratamientos de acuerdo con la prueba de Tukey ( $p < 0,05$ ).



**Anexo 7.5.** Figura con contenido de fenoles en vino Carménère tratado con flujo de aire, donde T0: control, T1A: 30 segundos con flujo de aire, T2A: 1 minuto con flujo de aire, T3A: 3 minutos con flujo de aire. Letras minúsculas distintas indican diferencia estadísticamente significativa entre los tratamientos de acuerdo con la prueba de Tukey ( $p < 0,05$ ).