

**UNIVERSIDAD DE CONCEPCIÓN
FACULTAD DE AGRONOMÍA**



**USO DE ALTERNATIVOS DE MADERA ENOLÓGICA (CUBOS) PARA MITIGAR
EL EFECTO DEL HUMO EN VINOS CV. CULTIVAR CINSULT**

POR

DIEGO GERARDO ALFARO CHAVARRÍA

**MEMORIA PRESENTADA A LA
FACULTAD DE AGRONOMÍA DE LA
UNIVERSIDAD DE CONCEPCIÓN
PARA OPTAR AL TÍTULO DE
INGENIERO AGRÓNOMO.**

**CONCEPCIÓN – CHILE
2024**

**UNIVERSIDAD DE CONCEPCIÓN
FACULTAD DE AGRONOMÍA**

**USO DE ALTERNATIVOS DE MADERA ENOLÓGICA (CUBOS) PARA MITIGAR
EL EFECTO DEL HUMO EN VINOS CV. CULTIVAR CINSULT**

POR

DIEGO GERARDO ALFARO CHAVARRÍA

**MEMORIA PRESENTADA A LA
FACULTAD DE AGRONOMÍA DE LA
UNIVERSIDAD DE CONCEPCIÓN
PARA OPTAR AL TÍTULO DE
INGENIERO AGRÓNOMO.**

**CONCEPCIÓN – CHILE
2024**

Aprobada por:

Profesor Asistente, Guillermo Pascual A.

Ing. Agrónomo, Dr.Cs.

Guía

Profesor Asociado, Antonio Pinto R.

Ing. Agrónomo, Mg. Ph. D.

Asesor

Profesor Asociado, Ignacio Serra S.

Ing. Agrónomo, M. Sc., Ph. D.

Asesor

Profesor Asociado Guillermo Wells M.

Ing. Agrónomo, Mg. Cs.

Decano

TABLA DE CONTENIDOS

	Página
Resumen	1
Summary	1
Introducción	2
Materiales y Métodos	7
Resultados y Discusión	10
Conclusiones	14
Referencias	15

INDICE DE FIGURAS Y TABLAS

	Página
Figura 1 Disposición de las muestras de la prueba del triángulo.....	9
Tabla 1 Escala de la prueba hedónica.....	8
Tabla 2 Resultados de análisis químico del vino.....	11
Tabla 3 Concentración de guayacol en el tratamiento control expresado en $\mu\text{g L}^{-1}$	11
Tabla 4 Resultados de la prueba del triángulo en vinos sometidos a distintos tratamientos de maceración con cubos de roble.....	12
Tabla 5 Resultados de la prueba hedónica en vinos sometidos a distintos tratamientos de maceración con cubos de roble.....	13

USO DE ALTERNATIVOS DE MADERA ENOLOGICA (CUBOS) PARA MITIGAR EL EFECTO DEL HUMO EN VINOS

USE OF OENOLOGICAL WOOD ALTERNATIVES (CUBES) TO MITIGATE THE EFFECT OF SMOKE ON WINES

Palabras clave: Fenoles volátiles, guayacol, ahumado, Cinsault.

RESUMEN

Los incendios forestales son cada vez más frecuentes y graves, impulsados por el cambio climático y prácticas en el uso del suelo. En Chile, durante el verano de 2023, las regiones del centro sur fueron gravemente afectadas por incendios que quemaron aproximadamente 430.000 hectáreas. El Valle del Itata, en la región de Ñuble, fue uno de los valles vitivinícolas más afectados, el cual presenta un clima propenso a incendios. La exposición al humo en las uvas puede resultar en vinos con aromas ahumados indeseables, debido a la presencia de fenoles volátiles. El objetivo de esta investigación fue determinar el efecto de cubos de roble con distintos niveles de tostado para mitigar los aromas y sabores a humo en vinos. Se utilizaron cuatro niveles de tostado: Bajo (LT), Medio (MT), Alto (HT) y NOISETTE, además de un tratamiento control. Se realizaron dos pruebas sensoriales: la prueba hedónica y la prueba del triángulo, con un panel de seis enólogos. Los análisis químicos confirmaron la presencia de fenoles volátiles, con una concentración de 50,4 $\mu\text{g L}^{-1}$ de guayacol, que son superiores al umbral de percepción y son responsables de los aromas y sabores ahumados. En la prueba del triángulo, los catadores lograron diferenciar entre los vinos tratados con un 95 % de confianza. En la prueba hedónica, se observaron diferencias significativas entre los tratamientos, con el tostado alto (HT) mostrando la mejor aceptación sensorial.

SUMMARY

Wildfires are becoming more frequent and severe, driven by climate change and land use practices. In Chile, during the summer of 2023, the central southern regions

were severely affected by fires that burned approximately 430,000 hectares. The Itata Valley, in the Ñuble region, was one of the most affected, which has a fire-prone climate. Exposure to smoke in grapes can result in wines with undesirable smoky aromas due to the presence of volatile phenols. The objective of this research was to determine the effect of oak cubes with different toast levels to mitigate smoky aromas and flavors in wines. Four toasting levels were used: Low (LT), Medium (MT), High (HT) and NOISETTE, in addition to a control treatment. Two sensory tests were performed: the hedonic test and the triangle test, with a panel of six winemakers. Chemical analysis confirmed the presence of volatile phenols, with a concentration of $50.4 \mu\text{g L}^{-1}$ of guayacol, which are above the perception threshold and are responsible for the smoky aromas and flavors. In the triangle test, tasters were able to differentiate between the treated wines with 95 % confidence. In the hedonic test, significant differences were observed between treatments, with high toast (HT) showing the best sensory acceptance.

INTRODUCCIÓN.

En las últimas décadas, los incendios forestales han sido una preocupación en numerosas regiones del mundo, lo que se debe al incremento en su frecuencia e intensidad (Westerling *et al.*, 2006). Estos fenómenos afectan el medio ambiente global, incluyendo la distribución de ecosistemas, la biodiversidad, el ciclo del carbono, la química de la atmósfera y el clima (Bowman *et al.*, 2009), así, las principales causas de estos patrones se relacionan con el cambio climático y las prácticas del uso de suelo (González *et al.*, 2011). De este modo, la prolongada y severa sequía de la última década y la escasez de agua, unida con las intensas olas de calor, con récords de temperaturas elevadas, ha contribuido a la desecación y/o muerte de la vegetación, lo que ha extendido la temporada de incendios y aumentado la frecuencia de condiciones climáticas favorables para incendios extremos y destructivos, con la propagación de estos eventos (González *et al.*, 2020; Organización de Naciones Unidas [ONU], 2023).

Además del cambio climático, las modificaciones del paisaje en Chile afectan el comportamiento y la gravedad de los incendios. Desde la llegada de los europeos,

los paisajes de Chile se han transformado por el desarrollo agrícola, la expansión de asentamientos humanos y la creación de plantaciones forestales en el centro-sur del país (Nahuelhual *et al.*, 2012); a esto se suman las modificaciones en la densidad y la ubicación de la población humana, la deforestación y fragmentación del paisaje, y las invasiones de vegetación. Todos estos factores suscitan un cambio en la configuración del paisaje y favorecen la difusión de incendios al generar condiciones de mayor inflamabilidad (Cárdenas, 2023).

En la actualidad, el riesgo de incendios forestales se incrementa en California, el Mediterráneo y el noreste de Australia, regiones con un clima mediterráneo similar al de la zona central de Chile (Rapanague, 2022).

En Chile, en las últimas décadas, el Estado ha fomentado un dinamismo económico que ha favorecido la expansión de plantaciones forestales industriales en su estructura y en su composición, lo que se compone por especies exóticas como *Pinus radiata* y *Eucalyptus globulus* (González *et al.*, 2018). Esta expansión ha ocurrido en la zona centro-sur del país, en terrenos que antes estaban ocupados por una matriz más diversa de bosques nativos, tierras agrícolas y bosques abiertos en estado de degradación (Fawas, 2015; Cárdenas, 2023). Hoy en día, las plantaciones forestales cubren una superficie aproximada de 3,11 millones de hectáreas, equivalentes al 17,27 % del total de bosques de Chile, según la actualización del Catastro de los Recursos Vegetacionales Nativos de Chile, donde las Regiones de Ñuble y Biobío, ubicadas en el centro-sur del país, concentran gran parte de la actividad forestal del país, con un 40 % de las plantaciones a nivel nacional (1.000.000 de hectáreas) (Corporación Nacional Forestal [CONAF], 2021). Según diversos estudios, los mayores impactos del cambio climático en el centro y sur de Chile se asocian con la reducción de las precipitaciones, lo que generará más incendios forestales y zonas perjudicadas (González *et al.*, 2011).

En Chile, durante el verano de 2023, las regiones del centro sur del país fueron afectadas por incendios forestales que quemaron cerca de 430.000 ha (CONAF, 2023). Esta superficie afectada en la temporada de incendios 2022 - 2023 representa un aumento de siete veces en relación con el promedio anual de las últimas cinco temporadas (Jacques, 2023). Las zonas más perjudicadas fueron las

regiones de Maule, Ñuble, Biobío y La Araucanía, con impactos en la industria forestal y agrícola, afectando a 11.656 productores agrícolas, 5.900 ha de cultivos y la muerte de 33.909 animales de ganado (ONU, 2023). Según un informe del Ministerio de Agricultura de Chile (2023), los incendios afectaron un total de 442,26 ha de viñedos en la Región de Ñuble, en el Valle del Itata, 113,72 ha en la Región del Biobío y 3,67 ha en la Región del Maule. Conforme con las estadísticas de la CONAF (2023), los incendios forestales en Chile se producen entre las regiones de Valparaíso y Los Lagos, particularmente entre noviembre y abril, donde se concentra el 83 % de la producción vitivinícola de Chile (Servicio Agrícola y Ganadero, 2022). La cantidad de incendios extremos o mega-incendios ha crecido, con 22 de estos eventos entre 1985 y 2018 (16 de ellos en la última década), especialmente en la cordillera de la costa y entre las regiones de O'Higgins y Biobío (González *et al.*, 2020). Estos son causados por varios factores, como temperaturas elevadas, baja humedad ambiental y vientos fuertes que fomentan la propagación del fuego y la extensión del área afectada (Zigner *et al.*, 2022).

El Valle de Itata ubicado en la Región de Ñuble fue uno de los valles vitivinícolas más afectados por los incendios, con impactos en casi la totalidad de las comunas. Asimismo, esta zona presenta un clima mediterráneo con altas temperaturas, baja humedad y veranos sin lluvias que lo hacen propenso a incendios (Molina, 2013).

En este sentido, los incendios forestales pueden causar pérdidas económicas a través del daño directo a los viñedos y bodegas; así, el mayor daño comercial es la intrusión de humo en los viñedos y la exposición al humo de la uva antes de la cosecha (Krstic *et al.*, 2015). La exposición prolongada al humo empeora la calidad de las uvas destinadas a la vinificación, lo que perjudica las propiedades sensoriales y comerciales de los vinos producidos a partir de estas uvas (Kelly *et al.*, 2012). Esto se debe a que los vinos obtenidos de uvas afectadas pueden presentar aromas y sabores desagradables asociados con el humo (Høj *et al.*, 2003), lo que se atribuye a varios fenoles volátiles presentes en el humo, incluidos guayacol, 4-metilguayacol, siringoles y cresoles (Summerson *et al.*, 2021). Estos compuestos suscitan aromas inusuales y desagradables, con notas ahumadas, quemadas y sucias que dejan un retrogusto ceniciento persistente (Kennison *et al.*, 2007).

Durante un incendio, las partículas, los gases y los fenoles volátiles del humo se combinan con las corrientes de aire y son llevados hacia el viñedo. La cantidad de contaminación por humo depende de la dirección del viento, la topografía del terreno, los gradientes de temperatura y la cercanía de los viñedos al incendio (Simos, 2008). Los fenoles volátiles del humo pueden entrar en las vides por tres posibles rutas: (i) directamente en las bayas con difusión a través de la cutícula cerosa, (ii) absorbiéndose por medio de las hojas, o (iii) son absorbidos por el sistema radicular después de que los fenoles volátiles se depositan en el suelo (Krstic *et al*, 2015). La principal vía de entrada de los compuestos volátiles del humo en las bayas es con la difusión a través de la cutícula (Härtl *et al.*, 2017; Kelly *et al.*, 2012; The Australian Wine Research Institute, 2023).

Luego de que los fenoles volátiles entran en las hojas y bayas, se convierten en formas glicosídicas estables (Härtl *et al*, 2017). De acuerdo con un estudio sobre la distribución de los glucósidos de guayacol en las bayas de uva, estos glucósidos se encontraban distribuidos de manera no uniforme en la piel y en la pulpa de las uvas. Esto sugiere que, una vez que el guayacol penetra en la piel, se glicoliza y se dispersa homogéneamente en toda la piel y la pulpa (Hayasaka *et al.*, 2010). Diversas investigaciones han evidenciado que los fenoles volátiles producidos por incendios forestales se incorporan a la piel de las uvas y se transforman en glicoconjugados que permanecen en el vino final (Dungey *et al.*, 2011). Durante la fermentación, estos precursores glicoconjugados se descomponen con la hidrólisis, con lo que se liberan sus formas volátiles que luego pueden transferir sus aromas a humo al vino final (Parker *et al.*, 2012). En la fermentación, los glucósidos no volátiles pueden ser transformados por levaduras y enzimas en sus formas libres activas, con lo que liberan sus aromas ahumados al vino (Noestheden *et al.*, 2018). Las investigaciones han sugerido que los aromas y sabores no deseados se relacionan con el aumento de fenoles volátiles y sus glicoconjugados en las uvas y en el vino resultante (Kennison *et al.*, 2008).

Durante la maduración de las bayas, desde el envero hasta la cosecha, son vulnerables a absorber vinil fenoles del humo (Kennison *et al.*, 2009). Lamentablemente, el momento más crítico para la exposición de la vid al humo

coincide con el mayor riesgo de incendios forestales. Con el aumento anticipado en la frecuencia de estos incendios, incrementa la exposición de las vides al humo y la contaminación por este en el vino (Fuentes y Tongson, 2017). Además, en el Valle de Itata, muchos viñedos están situados entre plantaciones forestales, lo que agrava el riesgo y el alcance de los daños.

En la actualidad, los viticultores y enólogos cuentan con técnicas que pueden aplicar en el viñedo y en la bodega para aminorar las concentraciones de compuestos volátiles derivados del humo en el vino y disminuir el desarrollo de aromas a humo luego de un incendio. Summerson *et al.* (2021) señalaron varias de estas estrategias, como utilizar cosecha manual, evitar la inclusión de hojas al fermento, procesar uvas en frío, utilizar clarificantes de vino y levaduras seleccionadas, y minimizar el tiempo de fermentación con pieles, por ello, recomendaron su uso combinado para garantizar que los niveles de fenoles volátiles y aromas ahumados en el vino final sean mínimos. Por su parte, van der Hulst *et al.* (2019) y Favell *et al.* (2019) evidenciaron que las aplicaciones foliares de caolín o biopelículas de fosfolípidos pueden proporcionar cierta protección contra la absorción de compuestos del humo. Además, el tratamiento de los vinos con carbón activado es eficaz para reducir el olor a humo, pese a ello, este método no es selectivo y puede influir en el aroma y sabor generales del vino (Fudge *et al.*, 2012).

Ristic *et al.* (2011) encontraron que añadir aditivos de roble puede disminuir la intensidad del aroma y sabor a humo en los vinos expuestos al humo, pues estos aditivos incrementan la complejidad del vino. Se considera que los compuestos volátiles del roble, provenientes de las astillas de roble, pueden ocultar los efectos sensoriales de los componentes del humo, como el guayacol y el 4-metilguayacol. Por lo tanto, estos aditivos ofrecen a los enólogos opciones para enmascarar los efectos del humo al procesar uvas y vino afectados.

En este estudio, se propone la hipótesis que al incorporar cubos de madera enológica en vino afectado por los incendios se podría reducir los efectos del humo en aromas y sabores. Así, el propósito es determinar el efecto de cubos con distintos niveles de tostados para mitigar el aroma y el sabor a humo en vinos producidos con uvas afectadas por el incendio forestal en la zona centro sur de Chile en 2023.

Además, se pretende comparar las alternativas de madera enológica sobre el efecto organoléptico mediante catas con un grupo de personas especializadas y la definición de sus características sensoriales.

MATERIALES Y MÉTODOS

El estudio se llevó a cabo con vino de variedad Cinsault que proviene de la Viña Lomas de Llahuen (-36°63'27" y -72°42'64"), Comuna de Portezuelo, Región de Ñuble, Valle del Itata, el que fue trasladado a las dependencias de la Universidad de Concepción en los módulos de laboratorios de la Facultad de Agronomía Concepción. Se contó con 60 litros de vino, el cual se dispuso en cajas tipo "bag in box" de 3 L, el cual consiste en envasar el producto en una bolsa compuesta por una o más capas de películas flexibles plásticas, las cuales se apoyan en una caja de cartón externa la que brinda soporte mecánico a ella. Estas bolsas llevan una válvula para llenar y dispensar el producto.

Adición de los alternativos

Se utilizó cuatro niveles de tostados en cubos: Bajo (LT), Medio (MT), Alto (HT) y NOISETTE, también se realizó un tratamiento control sin añadir chip alternativo de madera. La dosis para todos los tratamientos fue de 4 g L⁻¹, según lo recomendado por el fabricante. Todos los tratamientos tuvieron cuatro repeticiones. Los alternativos estuvieron en contacto con el vino por 40 días, posteriormente se separó del vino y se procedió a su envasado.

Análisis químicos del vino

Se determinaron los siguientes parámetros químicos:

- Acidez volátil: Mediante el método de Blarez, se obtuvo la acidez, expresada en g L⁻¹ ácido acético (Bordeu y Scarpa, 2000).
- Acidez Total (g L⁻¹ ácido tartárico): La acidez total del vino se obtuvo mediante titulación volumétrica (ácido base) utilizando NaOH 0.1 N y fenolftaleína como indicador (Bordeu y Scarpa, 2000).
- Azúcar residual: Se obtuvo mediante el método Fehling y se expresa en g L⁻¹ (Bordeu y Scarpa, 2000).

- Grado alcohólico: Se obtuvo por medio de destilación y posterior aerometría, la cual se expresa en % volumen.
- SO₂ libre y total: Se midió mediante el método Ripper y se expresa en mg L⁻¹ (Bordeu y Scarpa, 2000).

Análisis sensorial de los vinos

Se embotellaron dos botellas por cada uno de los tratamientos y se dispuso de un panel de expertos conformado por seis enólogos los cuales debieron realizar dos pruebas sensoriales, una de estas fue la prueba hedónica y la cual consistió en degustar los 12 vinos experimentales y a continuación clasificarlos según escala de Likert, siguiendo los parámetros que se indican a en la Tabla 1.

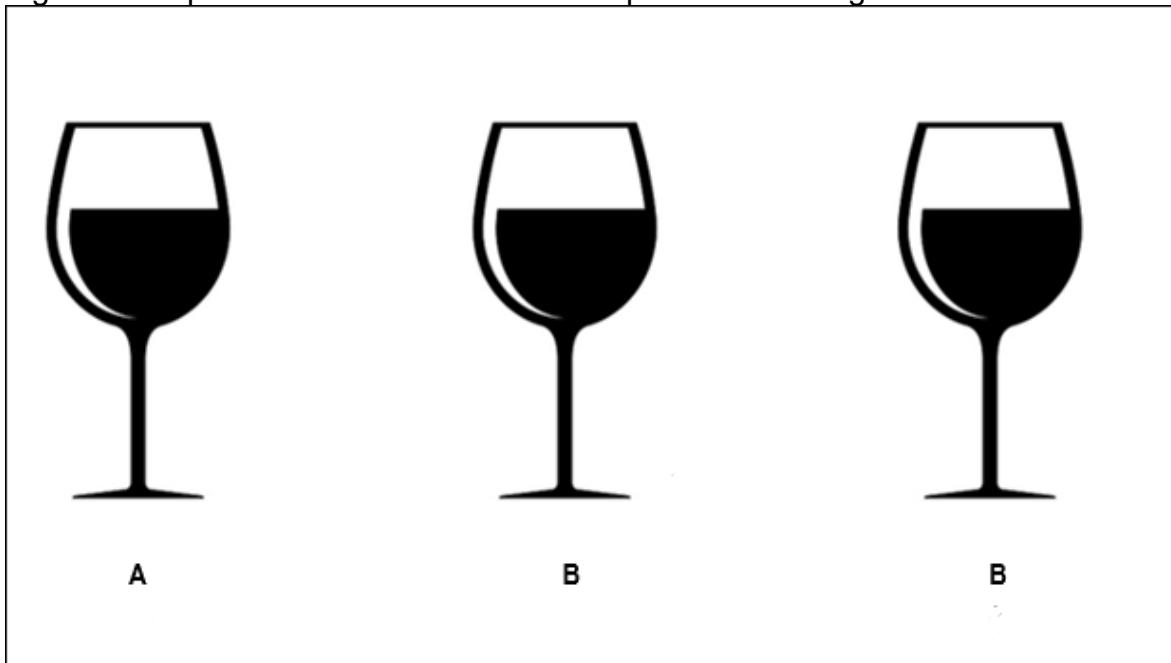
Tabla 1. Escala de la prueba hedónica.

Escala	Clasificación
(9)	Me gusta muchísimo
(8)	Me gusta mucho
(7)	Me gusta moderadamente
(6)	Me gusta un poco
(5)	Ni me gusta ni me disgusta
(4)	Me disgusta poco
(3)	Me disgusta moderadamente
(2)	Me disgusta mucho
(1)	Me disgusta muchísimo

La siguiente prueba sensorial, se llama la prueba del triángulo, la cual permite determinar si existen diferencias organolépticas perceptibles entre una muestra determinada con una muestra comparada. En la cual consistió en colocar tres muestras ordenadas aleatoriamente de las cuales dos corresponden a un mismo vino (B) y una es diferente (A), el objetivo de esta prueba es poder determinar si el

juez es capaz de diferenciar a través de la vista, el olfato y el gusto, la muestra que no es igual a ella, como lo ejemplifica la Figura 1.

Figura 1. Disposición de las muestras de la prueba del triángulo.



Identificación de fenoles y cuantificación del guayacol

En un vaso precipitado se colocaron 10 mL de hexano. Luego, del vino base se tomó una submuestra de 50 mL y se mezcló con el hexano para realizar la extracción de fenoles. La solución (vino + hexano) se hizo pasar por un embudo de decantación provisto de un papel filtro. El líquido filtrado se dejó reposar por 10 min donde se produjo una precipitación. Se separó el decantado de la fase acuosa. Se trabajó únicamente con la fase orgánica (precipitada), ya que era la fase donde se encontraba los fenoles volátiles del vino.

Las condiciones de trabajo del Cromatógrafo de gas con detector de masas Agilent 7890 A, y el Cromatógrafo de gas con detector de ionización de llama Agilent 6890 A, fueron las siguientes: la columna fue HP-5 (0,25 μm , 30 m, 0,25 mm); y el gas de arrastre fue nitrógeno con un flujo de 1,8 mL min^{-1} .

Se tomó una muestra de 1 mL y se introdujo en el Cromatógrafo de gases con detector de masas (Agilent 7890 A con selectivo de masas MSD Agilent Serie 5975,

Palo Alto, California, Estados Unidos), posteriormente se identificaron los fenoles presentes en las muestras de los tratamientos mediante una comparación de información contenida en una base de datos de espectro de masas.

Una vez que se corroboró la presencia de guayacol para poder cuantificar el compuesto, se inyectó 1 mL de la muestra en el cromatógrafo de gases con detector FID (Agilent 6890 A, Agilent Technologies, Palo Alto, California, Estados Unidos). Se calibró el equipo utilizando el estándar de guayacol conocido (Merk KGaA, Darmstadt, Alemania), el cual tenía una densidad de 1,129 g mL⁻¹. Se procedió a diluirlo en hexano y luego se prepararon soluciones con concentraciones que van desde 10 hasta 100 ppm. Después se comparó la altura y el área del pico del analito en la muestra con el estándar de concentración conocida de la sustancia utilizando los mismos parámetros de medición.

DISEÑO EXPERIMENTAL Y ANÁLISIS ESTADÍSTICO

Las características químicas del vino tanto antes y después del tratamiento, fueron sometidos a una prueba *t* de Student, con 5 % de significancia ($P < 0,05$). Posteriormente se realizó un ANDEVA (análisis de varianza) con la prueba de Tukey. Antes de aplicar estas pruebas, se verificó la normalidad de los residuos utilizando la prueba de Shapiro-Wilk y la homogeneidad de la varianza mediante la prueba de Levene. Para la prueba hedónica, se evaluaron los datos mediante un análisis de varianza no paramétrico de Kruskal Wallis, para cuantificar diferencias sensoriales entre los tratamientos, este análisis se replicó para la prueba del triángulo. Los análisis estadísticos fueron realizados con el software Infostat Versión 2008 (Balzarini *et al.*, 2008).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Análisis químicos del vino

Todos los resultados obtenidos en los análisis químicos del vino previo a la embotellación se ajustaron a los valores exigidos y establecidos por el Servicio Agrícola y Ganadero (SAG) conforme a lo dispuesto en la Ley 18.455 de producción, elaboración y comercialización de alcoholes etílicos, bebidas alcohólicas y vinagres.

De este modo, se determina que el grado alcohólico mínimo debe ser 11,5 °, con un máximo de 1,5 g L⁻¹ de acidez volátil, un pH de 3,8 y un azúcar residual máximo de 4,0 g L⁻¹.

Tabla 2. Resultados de análisis químico del vino.

Análisis	Vino Testigo
Grado alcohólico (% vol.)	12,5
Acidez volátil (g L ⁻¹ de ácido acético)	0,75
Acidez total (g L ⁻¹)	3,81
pH	3,35
Azúcares reductores (g L ⁻¹)	2,2
Anhídrido sulfuroso libre (mg L ⁻¹)	12,8
Anhídrido sulfuroso total (mg L ⁻¹)	19,2

Identificación de fenoles y cuantificación del guayacol

Kelly *et al.* (2012) analizaron las concentraciones de fenoles volátiles provenientes del humo en el vino, los que fueron producidos por cinco tipos de combustibles con variadas composiciones de lignina. Así, el guayacol y el 4-metilguayacol constituían aproximadamente el 20 % del total de fenoles en el vino de todas las fuentes de combustible. Por otro lado, Parker *et al.* (2012) establecieron el umbral de mejor estimación para las propiedades aromáticas de fenoles volátiles en el vino tinto para m-cresol (20 µg L⁻¹), guayacol (23 µg L⁻¹), p-cresol (64 µg L⁻¹) y o-cresol (62 µg L⁻¹). En este estudio, se identificó una concentración de 50,4 µg L⁻¹ de guayacol (Tabla 3), lo que evidencia la presencia de humo en el vino. Este valor excede el umbral de percepción sensorial determinado por Parker *et al.* (2012), que es de 23 µg L⁻¹ de guayacol para vinos tintos, lo que le confiere un carácter ahumado.

Tabla 3. Concentración de guayacol en el tratamiento control expresado en µg L⁻¹.

Tratamiento	Concentración de guayacol (µg L ⁻¹)
Testigo	50,4

Análisis sensorial

Prueba del triángulo

En cuanto a la prueba de discriminación, el panel de expertos fue capaz de discriminar entre el vino testigo y los distintos tratamientos ($p > 0,95$), después de 40 días en presencia de cubos de madera con diferentes grados de tostado. Respecto con las combinaciones de tratamientos, los catadores lograron una tasa de aciertos del 80 %.

En el estudio de Kyraleou *et al.* (2015) se observó una influencia positiva en la aceptabilidad sensorial del tratamiento de virutas de madera y polvo vendimia, lo que sugiere que la aplicación de estos productos fue efectiva en la reducción de compuestos no deseados organolépticamente sin afectar negativamente la calidad sensorial de los vinos. Independiente del grado de tostado el uso de madera de roble se asocia con cambios en el carácter del vino, lo que sugiere que la interacción entre la madera y el vino durante la fermentación y el envejecimiento puede modificar sus propiedades sensoriales (González-Centeno *et al.*, 2019).

Tabla 4. Resultados de la prueba del triángulo en vinos sometidos a distintos tratamientos de maceración con cubos de roble.

Tratamiento	Diferencia estadística ($P < 0,05$)
HT/NOISTTE	Significancia
LT/HT	Significancia
LT/MT	Significancia
LT/NOISTTE	Significancia
MT/HT	Significancia
MT/TESTIGO	Significancia
NOISTTE/MT	Significancia
TESTIGO/HT	Significancia
TESTIGO/LT	Significancia
TESTIGO/NOISTTE	Significancia

Prueba Hedónica

Tabla 5. Resultados de la prueba hedónica en vinos sometidos a distintos tratamientos de maceración de cubos de roble.

Tratamiento	Medias
TESTIGO	4,87 a
NOISETTE	4,87 a
LT	5,2 ab
MT	5,4 ab
HT	6,4 b

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($P > 0,05$).

Los resultados indican que, como se muestra en la Tabla 5, los catadores dieron una calificación más alta al tratamiento HT (tostado alto), con una nota promedio de 6,4, lo que señala una mejor aprobación (me gusta ligeramente). Por otro lado, los tratamientos Testigo y Noistte recibieron las calificaciones más bajas, con un promedio de 4,87 (me disgusta ligeramente). El tratamiento LT (tostado bajo) obtuvo una calificación promedio de 5,2, con una postura neutra (ni me gusta ni me disgusta), mientras que el tratamiento MT (tostado medio) recibió una nota promedio de 5,4 en la categoría de indiferencia (ni me gusta ni me disgusta). Se observaron diferencias entre los tratamientos ($P < 0,05$). El tratamiento HT fue superior significativamente en comparación con los tratamientos Testigo y Noistte, aunque no presentó diferencias significativas con los tratamientos LT y MT. A su vez, los tratamientos LT y MT no mostraron diferencias significativas con los tratamientos Testigo y Noistte. Estos resultados son consistentes con los de Ristic *et al.* (2011), quienes investigaron el efecto de añadir virutas de roble y taninos para mitigar la intensidad de los atributos sensoriales asociados con el humo. En ese estudio, las virutas de roble tostado redujeron el impacto del humo, con la disminución de la percepción de aroma y sabor "ahumado". Además, la incorporación de virutas de roble tostadas (medianas y fuertes) a los fermentos intensificó el aroma "frutal" del

vino. Asimismo, los vinos elaborados con virutas de roble sin tostar mostraron calificaciones de sabor "frutal" similares a las de los vinos de control. En este contexto, Oberholster *et al.* (2022) revelaron que la incorporación de virutas de roble (sin tostar y con tostado bajo) durante la fermentación de uvas afectadas por humo no tuvo un efecto en la percepción sensorial del vino en comparación con el control. Esto podría explicar el motivo por el que los tratamientos con tostados más altos o intensos recibieron una mejor aceptación en comparación con los tratamientos de control y los de tostado bajo.

Los resultados pueden explicarse porque el tratamiento HT con cubos de roble de tostado alto, se caracterizan por aportar aromas intensos como café tostado, cacao, tabaco y notas ahumadas (Smith *et al.*, 2020). Estos matices se comparan con los que se hallan en vinos expuestos al humo de incendios, lo que sugiere que el tratamiento se integró eficazmente en la estructura del vino, con complejidad y equilibrio más armónico al reflejar estas características aromáticas.

Cabe señalar que el efecto del humo en el vino podría intensificarse con el tiempo, por lo que Singh *et al.* (2012) demostraron un incremento en las concentraciones de guayacol y 4-metilguayacol en diversos vinos luego de dos años de envejecimiento en botella. Esto sugiere que los compuestos vinculados con el humo pueden desarrollarse durante el almacenamiento, lo que afecta el perfil aromático del vino a largo plazo.

CONCLUSION

Los análisis químicos de los vinos elaborados con uvas expuestas al humo confirmaron la presencia de fenoles volátiles, de guayacol, que está por sobre el umbral de percepción y que es responsable de entregar aromas y sabores ahumados en el vino.

En los análisis sensoriales, las catas realizadas por un grupo de expertos permitieron comparar los diferentes tratamientos con alternativas de madera enológica. Los resultados revelaron que el uso de cubos de roble con distintos niveles de tostado puede reducir o enmascarar las notas de humo en los vinos

afectados. Los vinos tratados con estos cubos recibieron calificaciones superiores en comparación con el vino de control (sin tratamiento).

Se observaron diferencias significativas entre los distintos grados de tostado, destacando el tratamiento de tostado alto (HT), que obtuvo la mejor aceptación sensorial.

REFERENCIAS

1. Balzarini, M.G., González, L., Tablada, M., Casanoves, F., Di Rienzo, J.A. y Robledo, C.W. (2008). InfoStat: software estadístico. Manual del usuario. Versión 2008. Brujas.
2. Bordeu, E. y J. Scarpa. (2000). Análisis químico del vino. (2a. ed.). Ediciones Universidad de Chile. Santiago, Chile.
3. Bowman, D. M. J. S., Moreira-Muñoz, A., Kolden, C. A., Chávez, R. O., Muñoz, A. A., Salinas, F., González-Reyes, Á., Rocco, R., de la Barrera, F., Williamson, G. J., Borchers, N., Cifuentes, L. A., Abatzoglou, J. T., & Johnston, F. H. (2019). Human–environmental drivers and impacts of the globally extreme 2017 Chilean fires. *Ambio*, 48(4), 350–362.
4. Cárdenas, F. (2023). Análisis de la influencia de variables meteorológicas y del paisaje en el tamaño de cicatrices de incendios forestales desarrollados en la zona Centro-Sur de Chile durante el periodo 2013-2015. [Tesis de Pregrado]. Universidad de Chile.
5. Corporación Nacional Forestal. (2021). Plantaciones Forestales.
6. Corporación Nacional Forestal. (2023). Reporte de incendios forestales.
7. Dungey, K. A., Hayasaka, Y., & Wilkinson, K. L. (2011). Quantitative analysis of glycoconjugate precursors of guaiacol in smoke-affected grapes using liquid chromatography-tandem mass spectrometry based stable isotope dilution analysis. *Food Chemistry*, 126(5), 801-806.
8. Favell, J. W., Noestheden, M., Lyons, S.-M., & Zandberg, W. F. (2019). Development and evaluation of a vineyard-based strategy to mitigate smoke-taint in wine grapes. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 67(50), 14137–14142.

9. Fawaz Y., M. J. (2015). Expansión forestal en Nuble y reestructuración social y productiva a nivel local. Percepción de los actores. *Tiempo y Espacio*, (9-10), 73.
10. Fudge, A., Schiettecatte, M., Ristic, R., Hayasaka, Y., & Wilkinson, K. (2012). Amelioration of smoke taint in wine by treatment with commercial fining agents. *Australian Journal of Grape and Wine Research*, 18(3), 302–307.
11. Fuentes, S., & Tongson, E. (2017). Advances in smoke contamination detection systems for grapevine canopies and berries. *Wine & Viticulture Journal*, 32, 36.
12. González, M. E., Gómez-González, S., Lara, A., Garreaud, R., and Díaz-Hormazábal, I. (2018). The 2010–2015 Megadrought and its influence on the fire regime in central and south- central Chile. *Ecosphere* 9(8): e02300. 10.1002/ecs2.2300.
13. Gonzalez, M. E., Lara, A., Urrutia, R., & Bosnich, J. (2011). Cambio climático y su impacto potencial en la ocurrencia de incendios forestales en la zona centro-sur de Chile (33° - 42° S). *ResearchGate*.
14. Gonzalez, M., Sapiains, R., Gomez-Gonzalez, S., Garreaud, R., Miranda, A., Galleguillos, M.,Castillo, I. (2020). Incendios forestales en Chile: Causas, impactos y resiliencia. Centro de Ciencia del Clima y la Resiliencia (CR)2, Universidad de Chile, Universidad de Concepcion y Universidad Austral de Chile.
15. González-Centeno, M.R., K. Chira and P. Teissedre. 2019. Use of oak wood during malolactic fermentation and ageing: Impact on chardonnay wine character. *Food Chemistry*. 278(1):460-468.
16. Härtl, K., Huang, F.-C., Giri, A. P., Franz-Oberdorf, K., Frotscher, J., Shao, Y., Hoffmann, T., & Schwab, W. (2017). Glucosylation of smoke-derived volatiles in grapevine (*Vitis vinifera*) is catalyzed by a promiscuous resveratrol/guaiacol glucosyltransferase. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 65(25), 5681–5689.
17. Hayasaka, Y., Baldock, G., Pardon, K., Jeffery, D., & Herderich, M. (2010). Investigation into the formation of guaiacol conjugates in berries and leaves of grapevine (*Vitis vinifera* L. cv. Cabernet Sauvignon) using stable isotope tracers combined with HPLC-MS and MS/MS analysis. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 58(4), 2076–2081.

18. Høj, P., Pretorius, I., & Blair, R.E. (2003). Investigations conducted into the nature and amelioration of taints in grapes and wine, caused by smoke resulting from bushfires. The Australian Wine Research Institute Annual Report (pp. 37-39). Adelaide, Australia: The Australian Wine Research Institute.
19. Jacques-Coper, M. (2023). Análisis (CR)2: Metodología extrema: uno de los factores tras los incendios de febrero 2023 en el centro-sur de Chile.
20. Junta de Gobierno de la República de Chile. (1985). Ley 18455. [Fija normas sobre producción, elaboración y comercialización de alcoholes etílicos, bebidas alcohólicas y vinagres, y deroga libro I de la Ley n° 17.105].
21. Kelly, D., Zerihun, A., Singh, D. P., Vitzthum von Eckstaedt, C., Gibberd, M., Grice, K., & Downey, M. (2012). Exposure of grapes to smoke of vegetation with varying lignin composition and accretion of lignin derived putative smoke taint compounds in wine. *Food Chemistry*, 135 (2) (2012), pp. 787-798.
22. Kennison, K., Wilkinson, K. L., Williams, H., Smith, J., & Gibberd, M. (2007). Smoke-derived taint in wine: Effect of postharvest smoke exposure of grapes on the chemical composition and sensory characteristics of wine. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 55(46), 10897-10901.
23. Kennison, K., Wilkinson, K., Pollnitz, A., Williams, H., & Gibberd, M. (2009). Effect of timing and duration of grapevine exposure to smoke on the composition and sensory properties of wine. *Australian Journal of Grape and Wine Research*, 15(3), 228–237.
24. Kennison, K. R., Gibberd, M. R., Pollnitz, A. P., & Wilkinson, K. L. (2008). Smoke-derived taint in wine: The release of smoke-derived volatile phenols during fermentation of Merlot juice following grapevine exposure to smoke. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 56, 7379-7383.
25. Krstic, M.P., D.L. Johnson and M.J. Herderich. 2015. Review of smoke taint in wine: smoke-derived volatile phenols and their glycosidic metabolites in grapes and vines as biomarkers for smoke exposure and their role in the sensory perception of smoke taint. *Aust. J. Grape Wine Res.* 21(S1): 537-553.
26. Kyraleou, M., S. Kallithraka, K. Chira, E. Tzanakouli, I. Ligas y Y. Kotseridis. 2019. Differentiation of Wines Treated with Wood Chips Based on Their Phenolic Content, Volatile Composition, and Sensory Parameters. *Food Chemistry*. 80(12):2701-2710.

27. Ministerio de Agricultura. (2023). Reporte Parcial de Situación Silvoagropecuaria.
28. Molina, V. (2013). Descripción y calidad adaptativa a la variabilidad climática de la pequeña y mediana viticultura de la Región del Biobío. [Tesis de Pregrado]. Universidad del Biobío.
29. Nahuelhual, L., Carmona, A., Lara, A., Echeverría, C., & González, M.E. (2012). Land-cover change to forest plantations: Proximate causes and implications for the landscape in south-central Chile. *Landscape and Urban Planning*, 107(1), 12-20.
30. Noestheden, M., Dennis, E. G., Romero-Montalvo, E., DiLabio, G. A., & Zandberg, W. F. (2018). Detailed characterization of glycosylated sensory-active volatile phenols in smoke-exposed grapes and wine. *Food Chemistry*, 259, 147–156.
31. Organización de Naciones Unidas – Chile. (2023). Chile Incendios forestales 2023, Reporte de Situación N°5.
32. Parker, M., Osidacz, P., Baldock, G., Hayasaka, Y., Black, C., Pardon, K., Jeffery, D., Geue, J., Herderich, M., & Francis, I. (2012). Contribution of several volatile phenols and their glycoconjugates to smoke-related sensory properties of red wine. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 60(10), 2629–2637.
33. Rapanague Sepúlveda, M. J. M. (2022). Proyecciones del riesgo de incendios forestales en Chile centro-sur bajo distintos escenarios de cambio climático.
34. Ristic, R., Osidacz, P., Pinchbeck, K., Hayasaka, Y., Fudge, A., & Wilkinson, K. (2011). The effect of winemaking techniques on the intensity of smoke taint in wine. *Australian Journal of Grape and Wine Research*, 17(1), S29–S40.
35. Servicio Agrícola y Ganadero. (2022). *SAG presenta Catastro Vitícola Nacional 2021*. SAG. Retrieved July 1, 2023.
36. Simos, C. (2008). *The implications of smoke taint and management practices*. *Australian Viticulture*. Jan/Feb 2008, 12, 77–80.

37. Singh, D. P., Zerihun, A., Kelly, D., Cain, N. M., Nankervis, P., & Downey, M. O. (2012). A GC-MS based analytical method for detection of smoke taint associated phenols in smoke affected wines. *Current Bioactive Compounds* 8, 190–199.
38. Smith, J., Johnson, L., & Brown, R. (2020). Impact of oak aging on wine flavor profiles: A sensory analysis. *Journal of Wine Research*, 32(4), 245-260.
39. Summerson, V., Gonzalez Viejo, C., Pang, A., Torrivo, D. D., & Fuentes, S. (2021, January 25). *Review of the Effects of Grapevine Smoke Exposure and Technologies to Assess Smoke Contamination and Taint in Grapes and Wine*. MDPI.
40. The Australian Wine Research Institute. (2015). Smoke Taint - Entry into Grapes and Vineyard Risk Factors.
41. van der Hulst, L., Munguia, P., Culbert, J. A., Ford, C. M., Burton, R. A., & Wilkinson, K. L. (2019). Accumulation of volatile phenol glycoconjugates in grapes following grapevine exposure to smoke and potential mitigation of smoke taint by foliar application of kaolin. *Planta*, 249(4), 941–952.
42. Westerling, A., Hidalgo, H., Cayan, D., Swetnam, T. (2006). "Warming and earlier spring increase western US forest wildfire activity". *Science* 313, 940 – 943.
43. Zigner, K., Carvalho, L. M. V., Jones, C., Benoit, J., Duine, G. J., Roberts, D., Fujioka, F., Moritz, M., Elmquist, N., & Hazard, R. (2022). Wildfire Risk in the Complex Terrain of the Santa Barbara Wildland-Urban Interface during Extreme Winds. *Fire-Switzerland* 5(5), Article 138.