

## REVISIÓN

**Aroma de humo en el vino: “smoke taint”**

Antonio Palacios, Vincent Renouf, Elvira Zaldivar, David Carrillo

*Laboratorios Excell Ibérica S.L. - C/ Planillo N°12, 26006 Logroño, La Rioja  
web: www.labexcell.es, tel. 941 451082*

Recibido 8 de marzo de 2022 / Aceptado 15 de marzo de 2022 / Publicado 1 de septiembre de 2022

**INTRODUCCIÓN**

Existe la pregunta de si las uvas que han sido expuestas al humo provocado por un incendio son capaces de impregnarse en su pruina de sustancias provenientes del humo de la combustión de la madera y ceder estas notas ahumadas posteriormente al vino resultante. Este problema del defecto de humo en los vinos se ve incrementado a nivel de frecuencia en su aparición debido al cambio climático y el calentamiento global del planeta, por lo que es un fenómeno que está siendo investigado de forma importante por numerosos equipos científicos. Ya no es un tema exclusivo de Australia o California, sino que cada vez son más los países afectados, tanto en el ámbito mediterráneo (Portugal, España e Italia) como en Chile, Argentina, Suráfrica y otros territorios vitivinícolas a nivel mundial. Son muchos los factores que incrementan el riesgo de incendios forestales, incluyendo condiciones climáticas cálidas, secas y ventosas; la disminución de las precipitaciones que conduce a períodos prolongados de sequía y el aumento de cargas de combustible vegetal que depende de las prácticas de gestión del suelo y el fatal fuego descontrolado.

El humo producido por la combustión de biomasa vegetal contiene numerosas sustancias, incluyendo gases inorgánicos (monóxido de carbono, ozono, dióxido de nitrógeno), hidrocarburos aromáticos policíclicos, compuestos orgánicos volátiles y partículas de polvo. La producción de estas sustancias varía con las condiciones de combustión, así como con la humedad relativa y la disponibilidad de oxígeno, la temperatura y la naturaleza del combustible, según sea más o menos rica en lignina, celulosa y hemicelulosa.

Hoy en día se sabe que las sustancias implicadas en conferir al vino aromas no deseados de bacon ahumado, ceniza o madera quemada tienen mucho que ver con los compuestos fenólicos como el güaiacol y 4-metilgüaiacol, derivados de la degradación térmica de la lignina, encontrándose el güaiacol siempre en con-

centraciones mayores frente al 4-metilgüaiacol. Compuestos que son detectados en vino de forma habitual cuando provienen del tostado de la madera de roble de las barricas a concentraciones por encima de 100 y 20 µg/L respectivamente, aportando en este caso complejidad y aromas propios de la madera. Así también están implicados otros compuestos responsables de los aromas ahumados, como el siringol y los isómeros: m-cresol, o-cresol y p-cresol.

El güaiacol y el 4-metilgüaiacol también pueden derivarse de corchos (Simpson *et al.* 1986) y se encuentran naturalmente en el fruto y las hojas de algunas variedades de uva, por ejemplo, shiraz, merlot y moscatel de Alejandría (Sefton 1998). A niveles bajos, estos compuestos agregan complejidad al sabor y aroma del vino, pero en niveles más altos son indeseables y se consideran como un defecto. Boidron *et al.* (1988) publicó los umbrales de detección de güaiacol y 4-metilgüaiacol, así en los vinos tintos son 75 µg/L y 65 µg/L respectivamente, y en blancos 95 µg/L y 65 µg/L. Aunque Simpson *et al.* (1986) notificaron un umbral de detección mucho más bajo de 20 µg/L para el güaiacol. Parker, M *et al.* en 2013 publicó que el m-cresol tiene un valor umbral de aroma muy bajo (20 µg/L), comparable al del güaiacol (23 µg/L). La comparativa de los umbrales de estos fenoles volátiles con sus concentraciones reales en el vino sugirió que el güaiacol y el m-cresol probablemente son los contribuyentes más importantes al aroma del vino tinto afectado por el humo, mientras que el resto de compuestos pueden ejercer un efecto ensalzador del defecto.

Cuando se realiza una evaluación sensorial, los glicósidos del güaiacol y del 4-metilgüaiacol producen un retrogusto marcado ceniza de cierta persistencia. Además, el m-cresol produce un sabor medicinal notable, mientras que el siringol no produce ningún efecto significativo. En un experimento llevado a cabo por el AWRI, donde se recogieron muestras de vino expulsado de la boca para su análisis, se confirmó la presencia

de fenoles volátiles libres y sugirió que habían sido liberados en la boca del catador, concluyendo que las enzimas salivares son capaces de hidrolizar los enlaces glicosídicos y liberar fenoles volátiles, que luego son activos a nivel retronasal (Parket *et al.*; 2012). Esto puede explicar el hecho de que algunos consumidores se quejen de la presencia del defecto únicamente cuando el vino está en boca y es entonces cuando aparecen las notas del humo justo antes de su ingesta.

#### INCIDENCIA VITÍCOLA DEL AROMA A HUMO

Los viñedos afectados por incendios próximos a su localización no suelen ser vendimiados por el problema sensorial que después aparece en el vino, por lo que representa una pérdida financiera importante para los viticultores y las bodegas elaboradoras. Por otra parte, cuando se realiza una vendimia de viñedos afectados de manera mecánica, al aportar más hojas en la vendimia, suelen dar vinos con mayor afección del defecto del humo. Es por ello que el potencial del “*smoke taint*” en uvas viene siendo un tema de debate y preocupación para los

viticultores y enólogos, tras la incidencia de incendios forestales en las cercanías de las regiones vitivinícolas Kennison *et al.* en 2007 demostraron la presencia de varios fenoles volátiles derivados del humo, incluyendo el gūaiacol y el 4-metilgūaiacol. En estos vinos se puede describir un aroma y un sabor ahumado, de ceniza fría, tizón, cenicero, terroso, carne ahumada, cuero, hospital, desinfectante, con toques medicinales, también descrito como goma quemada, carne ahumada, cuero, desinfectante, salmón ahumado y salami. Parece que la intensidad de los atributos sensoriales relacionados con el humo depende del momento y la duración de la exposición al humo de la vid y que el pico máximo de sensibilidad se produce siete días después del envero, (Kennison *et al.*; 2009).

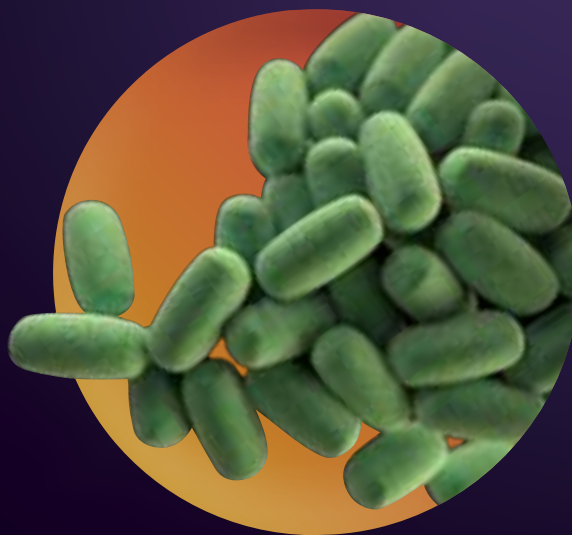
En otro estudio conducido Kenninson K.R. *et al* en 2011 se caracterizó la sensibilidad de la vid para desarrollar el defecto el humo en tres estadios diferentes de su ciclo vegetativo. El primero definido cuando los pámpanos tienen 10 cm y hasta floración, el segundo cuando las bayas tienen un tamaño de guisante hasta el envero y el



viniferm **oe** AG-20

## Bioprotección y expresión aromática durante la FML

Cultivo líquido de bacterias lácticas de fácil aplicación que, por su elevada prevalencia, limita el desarrollo de microorganismos indeseables y controla las fermentaciones malolácticas espontáneas respetando al máximo el carácter varietal del vino.



*Aroma de humo en el vino: "smoke taint"*

tercero definido a partir de siete días después de alcanzado el envero, siendo este último periodo el de mayor riesgo, llegando a acumular el güaiacol hasta concentraciones de 60 µg/L y de 4-metil-güaiacol 14 µg/L. También ha sido reportado por el mismo autor que las exposiciones repetidas al humo del fuego, tienen un efecto acumulativo sobre la uva y por lo tanto posteriormente en el vino. Lo que ocurre es que durante el envero hay cambios importantes a nivel del floema (pasa de un sistema simplástico a apoplástico) y también a nivel de la estructura de los tejidos vegetales a nivel de la pared celular de la uva. Estos cambios pueden ser los responsables de esta mayor sensibilidad.

Hayasake *et al.* en 2010 demostraron en ensayos conducidos en invernaderos que el marcador güaiacol es asimilado a nivel de hoja, entonces conjugado y traslocado hasta la baya. La velocidad de translocación fue estimada lenta, por lo que la aparición del defecto en el vino y su intensidad es dependiente del tiempo que pasa desde la exposición al fuego de la vid hasta la vendimia, incrementando la concentración de las formas libres, sobre todo durante la crianza del vino en botella, incluso durante dos años. Esto indica que la vendimia anticipada después de un incendio cercano al viñedo puede ser positiva para minimizar el problema y así evitar el traslado de las moléculas derivadas del humo hasta el fruto, y por tanto, hasta el vino. Por otra parte, el mismo autor apunta a que la absorción en baya es mayor que a nivel de hoja.

Un estudio publicado por Ristic *et al.* (2013), comparando los efectos de la defoliación parcial de las vides realizada antes y después de la exposición al humo mostró que donde se produjo la defoliación antes de la exposición al humo, los vinos exhibieron atributos sensoriales de humo más intensos en relación a los vinos de vides que no estuvieron expuestas al humo, así como mayores niveles de fenoles volátiles y glicoconjugados. Sin embargo, donde la defoliación ocurrió después de la exposición al humo, los vinos mostraron una contaminación menos intensa. Las causas exactas no se conocen, pero quizás sea debido a las diferencias de temperatura en las bayas causadas por la exposición al sol como resultado de la defoliación. Parece que las exposiciones excesivas al humo en incendios son capaces de reducir el rendimiento de la viña en uva, seguramente debido a la inhibición sobre la fotosíntesis, ya que la planta cierra los estomas y reduce la asimilación de CO<sub>2</sub>, disminuyendo entonces la acumulación de

azúcares. Además, produce daños necróticos a nivel de la superficie de las hojas, modificando la fisiología completa de la planta.

El problema es que la exposición de los viñedos al humo no se puede predecir o prevenir fácilmente, por lo que se hacen necesarios métodos que reduzcan la concentración de compuestos volátiles derivados del humo en el vino, mitigando así los efectos de la exposición al humo. En esta línea Ristic *et al.* en 2011 investigaron el efecto de diferentes técnicas de vinificación en la extensión de la contaminación en el vino y encontraron que la duración del contacto con la piel, la elección de la cepa de levadura y la adición de chips de roble o taninos influyeron en las propiedades sensoriales relacionadas con el humo. Estas técnicas pueden ser aplicadas al procesar uvas afectadas por humo, pero no abordan el problema de la contaminación ya efectiva en el vino.

Se han probado varios métodos preventivos incluyendo los siguientes: lavado de vides/uvas, eliminación parcial de hojas, aplicación de pulverizaciones agrícolas y diferentes técnicas de cosecha (es decir, cosecha manual vs. a máquina). Así, existen intentos de mitigar los efectos de la exposición de la vid al humo lavando uvas con agua y etanol acuoso al 5%, pero estas estrategias no consiguen disminuir la concentración de güaiacol en uvas ni en mosto. En un estudio más reciente, Szeto *et al.* (2020) evaluaron la nebulización directa en el lino como estrategia para mitigar la absorción de compuestos volátiles derivados del humo durante la exposición al humo con un sistema de rociadores montados en línea. Sin embargo, a pesar de algunas diferencias en los perfiles glicoconjugados volátiles de las uvas, el tratamiento de nebulización no afectó su concentración ni la percepción sensorial mejoró.

Varios estudios recomiendan la cosecha manual de uvas en lugar de la recolecta a máquina, para así evitar romper las bayas prematuramente y facilitar la extracción de compuestos contaminados por el humo de las pieles. Esto también evita la incorporación de hojas durante la fermentación y, por lo tanto, la extracción de compuestos contaminantes adicionales. En general, esto se considera como una buena práctica de vinificación, pero en el caso de la contaminación por humo, este enfoque debería combinarse con otras técnicas de mejora, porque por sí solo, no es suficiente. Otras estrategias preventivas han implicado la aplicación de pulverizaciones al follaje de la vid con caolín (un material a base de arcilla) con mayor o menor éxito dependiendo del tipo de

Antonio Palacios, Vincent Renouf, Elvira Zaldivar, David Carrillo

cultivo, lo que no fue entonces concluyente. Esta estrategia también se probó con biofilms de fosfolípidos artificiales diseñados para prevenir el agrietamiento de la fruta, pero sin éxito por las dificultades que acarrea su aplicación.

También se han realizado investigaciones preliminares sobre la fumigación con ozono postcosecha para reducir la concentración de güaiacol y 4-metilgüaiacol. Este método debe investigarse más a fondo para determinar con qué eficacia mitiga la contaminación por humo.

Un enfoque de prevención alternativo que muestra una gran promesa para la detección rápida de la exposición al humo en la viña es el uso de teledetección en el viñedo con detectores sensibles al humo, pero esta tecnología aún está en desarrollo.

#### INDICENCIA ENOLÓGICA DEL FENÓMENO

El problema en vino no es algo simple ni es fácil de comprender bien. Cuando un vino con problemas de contaminación de güaiacol y 4-metilgüaiacol se mezcla con el objetivo de diluir su concentración hasta llevarlo por debajo del umbral de detección, no es algo que se consiga resolver así fácilmente, seguramente debido a que hay más moléculas implicadas en el problema.

Debido a que es la piel de la uva la que acumula estos compuestos a nivel de pruina, una solución aplicable en bodega para evitar esta situación es reducir al mínimo el contacto con la piel de las uvas durante la fermentación. Esto es menos problemático en vinos blancos, donde el contacto es limitado al prensado, recomendándose la utilización de mosto yema, así como rápidos desfangados de mostos y clarificación potente de los vinos, además del tratamiento enzimático con  $\beta$ -glicosidasa antes de los procesos de limpieza.

Un problema añadido es la presencia de precursores responsables de estas notas ahumadas en su forma glicosilada, como en el caso del 4-metilgüaiacol, cuyo umbral sensorial se encuentra en 65  $\mu\text{g/L}$  en vino: Su liberación se produce mediante la hidrólisis ácida a partir de su forma glicosilada y los procesos de elaboración y envejecimiento pueden provocar su aparición. Por este motivo, además de controlar los niveles de precursores de los aromas de humo en la uva y del mosto, es importante evaluar la presencia de dichos precursores ligados a lo largo de todo el proceso de vinificación, como el 4-metilgüaiacol y sus derivados glicosilados. Es por ello que además de controlar los niveles de fenoles volátiles en el vino, es importante



evaluar la presencia de dichos precursores glicosilados, como el 4-metilgüaiacol por ejemplo. Lo que resultaría muy útil para conocer el peligro potencial real del vino una vez vaya a ser embotellado.

Los vinos elaborados a partir de uvas blancas tienden a tener niveles más bajos de güaiacol y 4-metilgüaiacol y esto se debe a la ausencia de contacto de la piel durante la vinificación con los vinos que se elaboraron a partir de mosto yema (Kennison *et al.* 2008). Lo que sugiere que el güaiacol y el 4-metilgüaiacol se concentran en la piel (o en las semillas) de la baya, sobre todo a nivel de pruina. El grosor de la piel de la baya de uva puede variar entre 3 y 8 mm dependiendo de la variedad de la vid, siendo un factor importante respecto al tema que nos ocupa. Recientemente, Sheppard *et al.* (2009) observaron que las bayas de piel más gruesa absorbían menos güaiacol cuando se exponían al humo. Observaciones anteriores de bajos niveles de güaiacol y 4-metilgüaiacol en vinos blancos hechos sin contacto con la piel sugirieron que los compuestos contaminantes parecían limitarse a las pieles de la fruta, posiblemente adhiriéndose a la cera cuticular de la baya. Si bien, este puede ser el caso de los analitos libres, es posible que la piel no sea la única fuente de güaiacol y 4-metilgüaiacol y que los altos niveles de precursores glicosilados puedan estar presentes especialmente en el mesocarpio (pulpa) de las bayas expuestas a altos niveles de humo. Sería interesante analizar estos compuestos en cada uno de los tejidos de la baya (piel, semillas y pulpa) por separado para localizar su distribución.

Se han considerado varios métodos de procesamiento de la uva como estrategia para minimizar los efectos negativos de la exposición al humo en el vino. La implementación de maceración de la uva en frío, lo que sustituye a la maceración tradicional en vinificación en blanco



Esquema inspirado en Ysadora A. Mirabelli-Montan, Matteo Marangon, Antonio Graça, Christine M., Mayr Marangon and Kerry L. Wilkinson. (2021). Techniques for mitigating the effects of smoke taint while maintaining quality in wine production: a review. *Molecules*, nº 26.

y rosado, lo que no es tan útil en tinto, limita el contacto con la piel, provocando un impacto significativo en los niveles de güaiacol y 4-metilgüaiacol.

También el uso de diferentes cepas de levadura fermentativas conlleva a cantidades diversas de güaiacol en los vinos terminados; entonces elegir la correcta levadura influye en la intensidad del defecto. El control de la temperatura de maceración y de la fermentación es otro ejemplo. También los tratamientos con chips y derivados de roble o taninos pueden alterar el efecto sensorial del defecto al aumentar la complejidad aromática del vino. De la misma forma, la clarificación mediante carbón activo de origen vegetal, puede ayudar a mitigar la intensidad del aroma de humo. Estas técnicas mejoran la situación sensorial de los vinos afectados, pero no resuelven el problema del todo y además, algunas de ellas pueden variar el resultado organoléptico global del vino, lo que no siempre es deseable.

#### TRATAMIENTOS POSIBLES EN VINO TERMINADO

Un método interesante para eliminar el defecto es el tratamiento de vinos contaminados con humo mediante ósmosis inversa con membranas nanofiltrantes y absorción en fase sólida con resinas de poliestireno. Cuando se estudia la composición química y las propiedades sensoriales del vino comparando antes y después del tratamiento, la concentración de fenoles volátiles derivados del humo, incluidos los compuestos marcadores güaiacol

y 4-metilgüaiacol, disminuyó significativamente con el tratamiento.

Un estudio que evalúa el tratamiento de tres vinos pinot noir y sus concentraciones engüaiacol y 4-metilgüaiacol menciona una reducción de 12 a 3 µg/L y de 5 a menos de 1 µg/L respectivamente. La determinación de estos compuestos se repitió a los 6, 12 y 30 meses después del embotellado, observándose un aumento gradual delgüaiacol y el 4-metilgüaiacol, tanto en vinos no tratados como tratados, lo que sugiere que la contaminación química podría aumentar con la edad del vino durante su crianza en botella. Dicho esto, cabe señalar que el contenido de fenoles volátiles del vino tratado 30 meses después del embotellado era menor que el no tratado en el momento del embotellado. Como consecuencia, la disminución de los atributos sensoriales relacionados con el humo permitió que los vinos tratados puedan diferenciarse fácilmente de los vinos no tratados.

Sin embargo, se encontró que el defecto regresaba lentamente con el tiempo, probablemente debido a la hidrólisis de precursores glicoconjugados que no se eliminaron previamente, lo que es consistente con estudios anteriores (Kennison *et al.* 2008). Entonces se puede afirmar que definitivamente la ósmosis inversa y la adsorción en fase sólida redujeron la concentración de volátiles derivados del humo y mejoró los atributos sensoriales de los vinos contaminados (Fudge *et al.*, 2011), pero indicando que el contenido de glicoconjugados no

se vio afectado por el proceso del tratamiento. El análisis de la fracción retenida y del permeado de los vinos confirmó la exclusión del contenido en glicoconjugados por la membrana, lo que pone de relieve una limitación en el proceso del tratamiento; la eliminación es entonces exclusiva de los compuestos volátiles derivados del humo únicamente y no de sus formas conjugados, lo que posibilita que el defecto del humo regrese lentamente con el tiempo de crianza del vino.

Recientemente, se ha investigado el uso en vino de polímeros de ciclodextrina (CD) reticulados para la eliminación de fenoles volátiles asociados con la contaminación por humo (güaiacol y 4-metilgüaiacol) y con el deterioro de *Brettanomyces* (4-etilgüaiacol y 4-etilfenol) con hasta un 77% de los fenoles volátiles eliminados. Sin embargo, hasta la fecha, no se ha informado de la eliminación de los compuestos glicoconjugados.

También se ha evaluado la posibilidad de que los vinos afectados por el humo se mezclen con otros vinos para diluir o enmascarar la percepción de la contaminación por humo. En vinos muy contaminados, esto no es factible porque incluso con una alta tasa de dilución, la contaminación por humo aún puede ser perceptible. Claramente, la idoneidad de este enfoque dependerá de la gravedad de la contaminación en el vino. Este enfoque también podría realizarse en combinación con otras estrategias. Si nada es posible por la intensidad del problema, la destilación del vino siempre es posible para elaborar bebidas espirituosas o para la obtención de alcohol vínico que permita otros usos.

#### MÉTODO ANALÍTICO

Gracias a la tecnología de cromatografía GC/MS Excell Ibérica S.L. ofrece la posibilidad de controlar en bodega los niveles de fenoles volátiles como el güaiacol y el 4-metilgüaiacol, así como los compuestos 4-etilgüaiacol, fenol, siringol, y los isómeros m-cresol, o-cresol y p-cresol, responsables del denominado "smoke taint". El método se basa en la separación por cromatografía de gases/espectrometría de masas (GC/MS) con microextracción en fase sólida en espacio de cabeza (HS/SPME). La fibra empleada es de tipo PDMS/DVB. La columna empleada en la separación cromatográfica es HP-Wax (Ultra Inert) de 60 m x 0,25 um x 0,25 mm. La fase móvil gas es helio de calidad 5.0 a un flujo de 1.2 mL/min.

El servicio analítico ofrece la posibilidad de caracterizar el vino antes y después de una hidrólisis ácida a pH 1 (ácido sulfúrico) para evaluar la afección real del defecto en el momento del análisis y su potencial de aparición durante la crianza del vino. La cinética de liberación de

los aromas libres a partir de los glicósidos no es del todo conocida, y sería interesante poder hacerlo, ya que es un factor determinante de la vida útil del producto una vez se encuentre embotellado. Por lo tanto, sería necesario estudiar la cinética de hidrólisis de estos precursores en diferentes matrices de vino y bajo diferentes condiciones de almacenamiento para desarrollar un modelo predictivo de liberación del güaiacol y 4-metilgüaiacol y determinar si se alcanza un equilibrio entre las formas libres y ligadas.

Los compuestos conjugados se pueden liberar mediante hidrólisis ácida y enzimática para investigar la descomposición del güaiacol- $\beta$ -D-glucopiranosido, que por hidrólisis libera güaiacol casi de forma completa. Debido a este hecho, se confirma el papel de la fermentación en la descomposición de estos glicoconjugados. Sin embargo, la hidrólisis ácida del mosto afectado por el humo libera más güaiacol que la hidrólisis enzimática, por lo que se utiliza más este método.

El laboratorio, asimismo, controla la eficiencia de su proceso analítico mediante la participación en un ejercicio inter comparativo internacional con un número total de 17 laboratorios participantes procedentes de Australia, Europa, América del Sur y Estados Unidos. La participación consiste en el análisis de 10 muestras de vinos (cinco tintos y cinco blancos) procedentes de USA con diversos grados de exposición al humo.

Conviene resaltar que el propósito básico de los ejercicios intercomparativos es evaluar el desempeño de los laboratorios sobre la forma en que llevan a cabo sus ensayos, mediciones o calibraciones para evitar el riesgo de que los datos puedan tener errores, sesgo o diferencias significativas con los datos reales, además de facilitar la validación del procedimiento analítico y la estrategia de control de calidad interno. Por otro lado, dicha participación incluye un alto potencial de mejora al obligar al laboratorio, ante resultados no satisfactorios, a detectar posibles fuentes de error.

#### CONCLUSIONES

Debido a que la eficacia de los tratamientos existentes hasta el momento dependen en gran medida del nivel inicial de contaminación por humo y del contenido en el vino de los fenoles volátiles tanto como sus glicoconjugados, son necesarios en el sector enológico métodos de análisis efectivos (preferiblemente rápidos, confiables y asequibles) para permitir a los viticultores y enólogos establecer la gravedad de la exposición al humo después de un evento de incendio y valorar así si la vendimia merece la pena o no, además de prever lo que posterior-

mente va a ocurrir en bodega y diseñar una estrategia de vinificación y posibles tratamientos del vino, ya que hasta ahora no hay una solución perfecta ni un único remedio eficiente y solo son aplicables estrategias combinadas para mitigar la aparición del defecto. Una combinación de todas estas técnicas puede permitir obtener vinos de un nivel cualitativo aceptable, aunque con posibles defectos perceptibles si las uvas han estado en contacto con humo, pero esta situación limita el estilo de vino a obtener en bodega y, por lo tanto, tendrá sus repercusiones económicas.

### BIBLIOGRAFÍA

- Boidron, J.N., Chatonnet, P. and Pons, M. (1988). Influence du bois sur certaines substances odorantes des vins. *Connaissance de la Vigne et du Vin* 22, pag. 275–294.
- Hayasaka, Y. Baldock, G.A. Pardon, K.H., Jeffery, D.W. and Herderich, M.J.; (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 analyses. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* nº58, pag. 2076-2081.
- Fudge A.L.; Ristic R.; Wollan D. and Wilkinson K.L.; (2011). Amelioration of smoke taint in wine by reverse osmosis and solid phase adsorption. *Australian Journal of Grape and Wine Research* nº17, pag. S41-S48.
- Jiranek, V.; (2011). *Smoke taint* compounds in wine: nature, origin, measurement and amelioration of affected wines. *Australian journal of Grape and Wine Research* nº 17, pag. S2-S4.
- Kennison, K.R.; Wilkinson, K.L.; Williams, H.G.; Smith, J.H. and Gibberd, M.R.; (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* nº55, pag. 10897–10901.
- Kennison, K.R.; Gibberd, M.R.; Pollnitz, A.P. and 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* nº 56, pag. 7379–7383.
- Kennison, K.R.; Wilkinson, K.L.; Pollnitz, A.P.; Williams, H.G. and Gibberd, M.R.; (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* nº 15, pag. 228-237.
- Kennison, K.R.; Wilkinson, K.L.; Pollnitz, A.P.; Williams, H.G. and Gibberd, M.R.; (2011). Effect of smoke application to field-grown Merlot grapevines at key phenological growth stages on wine sensory and chemical properties. *Australian Journal of Grape and Wine Research* nº 17, pag. S5-S12.
- Parker, M.; Osidacz, P.; Baldock, G.A.; Hayasaka, Y.; Black, C.A.; Pardon, K.H.; Jeffery, D.W.; Geue, J.P.; Herderich, M.J. and Francis, I.L. (2012) Contribution of several volatile phenols and their glycoconjugates to smoke-related sensory properties of red wine. *J. Agric. Food Chem.* Nº 60, pag. 2.629-2.637.
- Ristic, R.; Osidacz, P.; Pinchbeck, K.A.; Hayasaka, Y.; Fudge, A.L. and Wilkinson, K.L.; (2011). The effect of winemaking techniques on the intensity of *smoke taint* in wine. *Australian Journal of Grape and Wine Research* nº 17, pag. S29–S40.
- Szeto, C.; Ristic, R.; Capone, D.; Puglisi, C.; Pagay, V.; Culbert, J.; Jiang, W.; Herderich, M.; Tuke, J.; Wilkinson, K. (2020). Uptake and glycosylation of smoke-derived volatile phenols by Cabernet Sauvignon grapes and their subsequent fate during winemaking. *Molecules* nº 25, pag. S720-S734.
- Sheppard, S.I., Dhesi, M.K. and Eggers, N.J. (2009). Effect of pre- and post-veraison smoke exposure on guaiacol and 4-methylguaiacol concentration in mature grapes. *American Journal of Enology and Viticulture* 60, pag. 98-103.
- Singh D.P., Chong H.H., Pitt K.M., Cleary M., Dokoozlian N.K. and Downey M.O. (2011). Guaiacol and 4-methylguaiacol accumulate in wines made from smoke-affected fruit because of hydrolysis of their conjugates. *Australian Journal of Grape and Wine Research* nº 17, pag. S13-S21.
- Simpson, R.F., Amon, J.M. and Daw, A.J.; (1986). Off-flavour in wine caused by guaiacol. *Food Technology in Australia* 38, pag. 31–33.
- Ysadora A. Mirabelli-Montan, Matteo Marangon, Antonio Graça, Christine M., Mayr Marangon and Kerry L. Wilkinson. (2021). Techniques for mitigating the effects of *smoke taint* while maintaining quality in wine production: a review. *Molecules*, nº 26, pag. 1672-1698.
- Wilkinson, K.L.; Ristic, R.; Pinchbeck, K.A.; Fudge, A.L.; Singh, D.P.; Pitt, K.M., Downey, M.O.; Baldock, G.A.; Hayasaka, Y.; Parker, M. and Herderich, M.J. (2011). Comparison of methods for the analysis of smoke related phenols and their conjugates in grapes and wine. *Australian Journal of Grape and Wine Research* nº 17, pag. S22–S28.