

SMART LINK #17

NUEVOS AVANCES EN EL CONOCIMIENTO DE LA INCIDENCIA DE LOS INCENDIOS CERCA DE LOS VIÑEDOS Y LAS BODEGAS

Antonio Palacios*; David Carrillo*; Elvira Zaldívar*; Eduardo Leiva*; *Vincent Renouf** y Tommaso Nicolato**; **Laboratoire Excell France; *Laboratorios Excell Ibérica S.L. – Laboratorios Excell Ibérica, S.L. – C/ Planillo, 12; 26006 Logroño (La Rioja)
www.excelliberica.com - Tel.: 941 445 106

INTRODUCCIÓN

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, temperatura y naturaleza del combustible, según sea más o menos rico en lignina, celulosa y hemicelulosa. Pero este no es el único problema. El defecto puede conllevar también la presencia de retardantes de llama, incluso presentes en el agua que se utiliza para combatir los incendios, compuestos susceptibles de migrar al vino e interactuar con sus cualidades sensoriales intrínsecas.

Si bien, los aromas de la madera tostada se pueden buscar de forma positiva en un vino, en particular con la ayuda de la crianza en barrica de roble con un nivel de tostado elevado o la adición de chips más o menos torrefactados, favoreciendo en particular los marcadores de notas ahumadas, de vainilla, especiados y coco, estos aromas permanecen controlados durante las diferentes etapas de la crianza. En el caso de un incendio, los marcadores de combustión que causan los "gustos a humo" no se controlan y afectarán negativamente a las características organolépticas del vino durante su elaboración.

Hoy en día se sabe que las sustancias implicadas en conferir al vino aromas ahumados, tienen mucho que ver con los compuestos fenólicos como el güaiacol y 4-metilgüaiacol,

derivados de la degradación térmica de la lignina. En el caso de un incendio, los marcadores de combustión que causan el humo son incontrolados y afectarán a las características organolépticas del vino de forma negativa a concentraciones por encima de 100 y 20 $\mu\text{g/L}$ de güaiacol y 4-metilgüaiacol respectivamente. Así también están implicados otros compuestos responsables de los aromas ahumados, como el siringol y los isómeros: m-cresol, o-cresol y p-cresol. A niveles bajos, estos compuestos agregan complejidad al sabor y aroma del vino, pero en niveles más altos son indeseables y su presencia se considera como un defecto. Boidron *et al.* (1988) publicaron los umbrales de detección del güaiacol y 4-metilgüaiacol, así en los vinos tintos son 75 $\mu\text{g/L}$ y 65 $\mu\text{g/L}$ respectivamente, y en blancos 95 $\mu\text{g/L}$ y 65 $\mu\text{g/L}$. Aunque Simpson *et al.* (1986) notificaron un umbral de detección mucho más bajo, 20 $\mu\text{g/L}$ para el güaiacol. Parker, M *et al.* (2013) publicaron que el m-cresol tiene un valor umbral de aroma muy bajo (20 $\mu\text{g/L}$), comparable al del güaiacol (23 $\mu\text{g/L}$). 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 ceniciento 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 expectorado para su análisis analizadas mediante cromatografía gaseosa, 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 en el momento de la ingesta, 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 ser consumido.

INCIDENCIA VITÍCOLA DEL AROMA A HUMO

Los viñedos afectados por incendios próximos a su localización pueden no 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. Parece que la intensidad de los atributos sensoriales relacionados con el humo depende del momento y duración de la exposición de la vid al humo y que el pico máximo de sensibilidad se produce unos días después del envero, (Kennison *et al.*; 2009).

En otro estudio conducido por Kenninson *et al.* (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 tercero definido a partir de 7 días después de alcanzar este momento, siendo este último periodo el de mayor riesgo, llegando a acumular güaiacol hasta concentraciones de 60 µg/L y 4-metil-güaiacol de 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.* (2010) demostraron en ensayos conducidos en invernaderos que el marcador güaiacol es asimilado a nivel de hoja, entonces es 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 su 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, posteriormente hasta el vino. Por otra parte, el mismo autor apunta a que la absorción en la pruina de la 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 después de la exposición al humo, mostró que donde se produjo la defoliación, los vinos mostraron una contaminación menos intensa.

Parece además 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 las estomas y reduce la asimilación de CO₂,

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

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. mecanizada). 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 gūaiacol ni en uvas ni en mosto, por lo que no se consideran prácticas y además son costosas.

Varios estudios recomiendan la cosecha manual en lugar de la recolecta mecanizada, para así evitar romper las bayas prematuramente y facilitar la extracción de los compuestos contaminantes por el humo de las pieles. Esto también evita la incorporación de hojas durante la fermentación y, por lo tanto, la extracción de compuestos adicionales. En general, esto se considera como una buena práctica, pero en el caso de la contaminación por humo, este enfoque debería combinarse con otras técnicas de mejora, porque por sí misma, no es suficiente.

También se han realizado investigaciones preliminares sobre la fumigación con ozono postcosecha para reducir la presencia de gūaiacol y 4-metilgūaiacol. Este método debe investigarse más a fondo para determinar con qué eficacia se mitiga la contaminación por humo en uva y posteriormente en el vino.

INCIDENCIA VITÍCOLA DEL AROMA A HUMO

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 de la uva. En esta línea Ristic *et al.* (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 de la uva en maceración intensifica el problema, lo que es menos probable en vinos blancos, donde el contacto es limitado al prensado, recomendándose la utilización de mosto yema muy limpio, así como rápidos desfangados de mostos y clarificaciones potentes de los vinos, además, el tratamiento enzimático con β -glucosidasa antes de los procesos de limpieza puede resultar útil. La elección de la cepa de levadura y la adición de chips de roble o taninos también influyen en

las propiedades sensoriales relacionadas con el humo de forma positiva o negativa dependiendo de su efecto.



El problema en vino no es algo simple ni es fácil de comprender bien. Cuando un vino con problemas de contaminación por güaiacol y 4-metilgüaiacol se mezcla con otros con el objetivo de diluir su concentración hasta llevarlo por debajo del umbral de detección, un problema añadido es la presencia de precursores responsables de estas notas ahumadas en su forma glicosilada, como en el caso del glicósido de 4-metilgüayacol, cuyo umbral sensorial se encuentra en 65 µg/L en vino cuando está hidrolizado: su liberación se produce mediante la hidrólisis ácida a partir de la forma glicosilada y los procesos de elaboración y envejecimiento pueden provocar su aparición. Estas formas glicoconjugadas no liberarán su potencial de notas "ahumadas" inmediatamente, sino que lo harán con el tiempo, durante 2/3 de la vinificación y luego el resto durante el envejecimiento del vino.

Es por ello que además de controlar los niveles de precursores de los aromas de humo en la uva y en el mosto, es importante evaluar la presencia de dichos precursores ligados a lo largo de todo el proceso de vinificación, como el 4-metilgüayacol y sus derivados glicosilados. Lo que resultaría muy útil para conocer el peligro potencial real del vino una vez vaya a ser embotellado y también para anticiparse y aislar la cosecha de parcelas contaminadas que puedan afectar a la totalidad o parte de una mezcla de un vino o incluso de una añada concreta, es entonces muy importante rodearse de herramientas de diagnóstico que permitan tomar las medidas necesarias según el riesgo potencial evaluado.

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 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.

Un método interesante para eliminar el defecto es el tratamiento de vinos contaminados 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 comparando antes y después del tratamiento del vino, la concentración de fenoles volátiles derivados del humo, incluidos los compuestos marcadores güaiacol y 4-metilgüaiacol, disminuyeron significativamente.

Un estudio que evalúa el tratamiento de 3 vinos Pinot noir y sus concentraciones en güaiacol 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 en el tránsito un aumento gradual del güaiacol 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 en el caso de la presencia de precursores. Se encontró que el defecto aumentaba lentamente con el tiempo, probablemente debido a la hidrólisis de precursores glicoconjugados, 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 de los compuestos glicoconjugados por la membrana, lo que pone de relieve una limitación en el proceso del tratamiento y lo que posibilita que el defecto regrese lentamente con el tiempo de la crianza del vino.

También se ha evaluado la capacidad de varias enzimas comerciales con actividad β-glicosidasa para escindir glicoconjugados, pero con un éxito limitado, lo que sugiere que la hidrólisis enzimática se debe realizar junto con otros tratamientos adicionales, como la ósmosis inversa, aunque su efectividad depende de la susceptibilidad de los

glicoconjugados a su hidrólisis enzimática, así como del nivel de gravedad de la contaminación por humo.

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 compuestos glicoconjugados.

Si debido a la intensidad del problema, ninguno de los tratamientos antes expuestos es efectivo, la destilación del vino siempre es una solución para elaborar bebidas espirituosas o para la obtención de alcohol vínico que permita otros usos.

LUCHA CONTRA INCENDIOS Y RETARDANTES DE LA COMBUSTIÓN, NUEVOS COMPUESTOS IMPLICADOS

"El rumor es el humo del ruido", escribió Víctor Hugo. Quizás más pernicioso y ciertamente más peligroso para la calidad del vino, como lo es el propio humo, son los retardantes de llama, compuestos utilizados para extinguir incendios, adyuvantes utilizados con el agua contenidos en hidroaviones, bolsas de almacenamientos y camiones cisterna para mejorar la eficacia de la extinción durante las acciones directas sobre el incendio, o para reducir la capacidad inflamable (ignífuga) de zonas aún no afectadas. Estos productos suelen contener polifosfatos de amonio, glicoles, tensioactivos, agentes espumantes, óxidos de hierro, colorantes, arcillas y varios otros componentes dependiendo de los productos utilizados. Algunos de estos compuestos exhiben claramente restricciones en términos de seguridad alimentaria. En su conjunto, estos compuestos plantean riesgos de migración obvios en uvas y en vinos. Algunos niveles de estos compuestos (glicoles, hierro, ...) están además claramente regulados.

Cuando una cosecha o una bodega ha estado expuesta al uso de retardantes, es importante realizar análisis mediante screening para comprobar si determinadas familias de compuestos presentes en el vino no son el resultado de una migración de constituyentes del retardante. La búsqueda específica de glicoles puede ser un buen marcador de migración de compuestos retardantes. Algunos glicoles están presentes naturalmente en pequeñas cantidades en los vinos, de hecho, son débilmente producidos por las levaduras fermentativas. Sin embargo, un contenido de glicol superior a doscientos o trescientos mg/L puede alertar de contaminación externa. En

algunas circunstancias, estas contaminaciones también pueden deberse a fugas del circuito de enfriamiento de los tanques.

Cuando una cosecha o una bodega han estado expuestas al uso de retardantes, es importante realizar análisis de cribado para comprobar si determinadas familias de compuestos presentes en el vino no son el resultado de una migración de los componentes retardantes. La búsqueda específica de glicoles puede ser un buen marcador de migración de compuestos retardantes. La identificación precisa de las moléculas presentes también es información a tener en cuenta para evaluar el problema de una forma global. Cuando el fuego ha afectado no solo al material vegetal, sino también a materia orgánica, la combustión puede generar HAP (hidrocarburos aromáticos policíclicos) cuya toxicidad está comprobada y, por lo tanto, es importante su control.

Analizando circunstancias muy diferentes, después de un incendio en el interior de una bodega, se pueden realizar análisis en el vino almacenado en el edificio, también en la superficie de los recipientes y equipos o, de una manera más representativa, en la atmósfera del propio edificio. Las trampas atmosféricas de fibra cromatográfica son dispositivos especialmente potentes para el análisis de la calidad del aire ambiental en estos casos.

Más anecdótico, pero a tener en cuenta de todos modos, es que a veces el agua utilizada puede transportar ciertos elementos, como sal de ClNa (cuando se usa agua de mar) o cloro (cuando se usa agua de la red con hipocloroso). Después, estos elementos pueden constituir sustratos, en particular el cloro, susceptibles de interactuar con la vía de síntesis de ciertos compuestos alterantes. Una determinación de cloruros y sodio puede permitir estimar estos riesgos futuros.

Finalmente, cabe señalar que la combustión de ciertos equipos electrónicos puede causar la liberación de metales pesados (como el plomo), lo que también habría que tener en cuenta. Puede ser pertinente controlar con precisión (en particular, cuando las uvas, mostos o vinos han estado en contacto con dichos aparatos después del incendio).

MÉTODO ANALÍTICO DE DIAGNÓSTICO

Gracias a la tecnología de cromatografía GC/MS el laboratorio ofrece la posibilidad de controlar en bodega los niveles de fenoles volátiles como el gūaiacol y el 4-metilgūaiacol,

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 del tipo PDMS/DVB. La columna para la separación cromatográfica es HP-Wax (Ultra Inert) de 60 m x 0,25 µm 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 (con ácido sulfúrico) para evaluar la afección real del defecto en el momento del análisis y su potencial de aparición durante la crianza del vino. Los compuestos conjugados se pueden liberar también vía enzimática, 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. 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, como hemos realizado.

El laboratorio, así mismo 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 (5 tintos y 5 blancos) procedentes de USA con diversos grados de exposición al humo. Conviene resaltar que el propósito básico de los ejercicios inter comparativos es evaluar el desempeño de los laboratorios sobre la forma en que llevan a cabo sus ensayos, mediciones y 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 analítica. 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 y eliminarlas.

CONCLUSIONES

Debido a que la eficacia de los tratamientos existentes hasta el momento depende en gran medida del nivel inicial de la contaminación por humo y del contenido del vino en fenoles volátiles, tanto como de 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 incendio y valorar así si la vendimia merece la pena o no, además de prever lo que posteriormente va a ocurrir en bodega y diseñar una estrategia de vinificación y de posibles tratamientos curativos del vino. La combinación de varias técnicas puede permitir obtener vinos de un nivel cualitativo aceptable, aunque depende de la intensidad del contacto de la fruta con el humo.

Cuando se produce un incendio cerca de un viñedo o bodega, con el fin de tener una visión completa de los compuestos susceptibles de migrar al vino y afectar a sus cualidades, es importante conocer los siguientes parámetros:

- . Compuestos implicados en el "gusto a humo" y sus formas glicosiladas;
- . Compuestos suministrados por retardantes de llama (como los glicoles);
- . Compuestos de tipo HAP;
- . Cloruros y sodio.

El análisis de estos compuestos permite decidir sobre el impacto directo o indirecto de los incendios en la calidad final del vino, y optar por ciertos tratamientos (por ejemplo, con carbones activos, que tienen una eficacia relativa con los compuestos tipo HAP). Si es necesario, también el análisis permite construir archivos con argumentos sólidos válidos para con las compañías de seguros durante las reclamaciones de los daños sufridos.

BIBLIOGRAFÍA

- . Boidron, J.N.; Chatonnet, P. ; 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.; Oardon, K.H.; Jeffery, D.W.; Herderich, M.J. (2010). Investigation into the formation of guaiacol conjugates in berries and leaves of grapevine

Vitis vinifera L. Cv Cabernet sauvignos 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.; Wilkinson K.L. (2011). Amelioration of smoke taint in wine by reverse osmosis and solid phase adsorption. *Australian Journal of Grape and Wine Research* nº 17, 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.; 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.; 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.; 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 Wines 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.; 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.; 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. 5720-5734.
- Sheppard, S.I.; Dhesi, M.K.; 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.; 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.; Daw, A.J. (1986). Off-flavour in wine caused by guaiacol. *Food Technology in Australia* 38, pag. 31-33.
- Mirabelli-Montan, Y.A.; Marangon, M.; Graça, A.; Mayr Marangon, C.M.; Wilkinson, K.L. (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.; 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.