



FACULTAD DE CIENCIAS
AGRONÓMICAS
UNIVERSIDAD DE CHILE



Grupo de Investigación Enológica
Universidad de Chile

BOLETIN

EFECTO DE LA EXPOSICIÓN AL HUMO DE VIDES PARA LA PRODUCCIÓN DE VINOS



Álvaro Peña Neira
Dr. Ingeniero Agrónomo-Enólogo

Enero 2017



FACULTAD DE CIENCIAS
AGRONÓMICAS
UNIVERSIDAD DE CHILE



Grupo de Investigación Enológica
Universidad de Chile

Introducción.

Las vides reaccionan al fuego de varias maneras y el grado y tipo de daño determina el mejor enfoque para el tratamiento de las plantas. Algunos efectos del fuego son evidentes, tales como hojas deshidratadas y la corteza quemada. Otro tipo de daño puede ocurrir por debajo de la superficie de la corteza de la planta, es decir, el calor radiante causa daño o muerte de la planta sin daño externo obvio.

Los vinos elaborados con uvas expuestas al humo durante etapas de crecimiento sensibles pueden presentar sabores semejantes a la carne ahumada, desinfectante, cuero, salami entre otros, siendo el humo desfavorable en la precepción de los consumidores, lo cual se conoce como “sabor a humo” (*smoke taint* en inglés).

Los incendios de la vendimia 2017 en Chile, requerirán en muchos casos manejos vitivinícolas y enológicos que debieran considerar la experiencia de países como Australia, en que los incendios forestales son frecuentes en períodos de desarrollo y maduración de las bayas y en fechas cercanas a la vendimia. No obstante lo anterior, será importante desarrollar investigación local, que permita tener información pertinente a la realidad local del país.

Este Botetin busca contribuir con información actualizada y relevante en la toma de decisiones de pequeños productores, técnicos y profesionales del sector vitivinícola, de forma de disminuir problemas tecnológicos potenciales que la exposición de las bayas al humo podría generar en la calidad sensorial de los vinos, así como conocer formas de evaluación del nivel de daño de viñedos expuestos a las llamas y posibles manejos.

Compuestos responsables al “sabor a humo” de los vinos.

Cuando viñedos y uvas están expuestos al humo, se puede generar en los vinos caracteres sensoriales indeseables, con descriptores como humo, quemado, ceniza o medicinal. Por lo general este problema se conoce como “sabor a humo” (en inglés *smoke taint*). Los compuestos del humo responsables de imprimir desviaciones aromáticas son los **fenoles volátiles libres** que se producen cuando se quema la madera en ciertos momentos en que los racimos son susceptibles. Estos compuestos pueden permanecer en los hollejos de las bayas o bien ser absorbidos y metabolizados rápidamente por éstas, uniéndolos a azúcares y formando **compuestos combinados (glucósidos)**, más estables, pero que no tienen aroma ahumado. A menudo estos glucósidos se describen como **precursores** del sabor a humo en etapas posteriores del proceso de producción, crianza y guarda. Durante la fermentación (y también con el tiempo en barrica o botella) estos compuestos combinados (glucósidos) pueden romperse, entregando los fenoles volátiles libres al mosto o vino (Figura 1), permitiendo que el sabor ahumado pueda ser percibido o se incremente. Estos glucósidos también pueden liberar los fenoles volátiles en la boca durante el consumo del vino por acción de las enzimas de la saliva, que puede contribuir a la percepción del sabor a humo en el retrogusto.

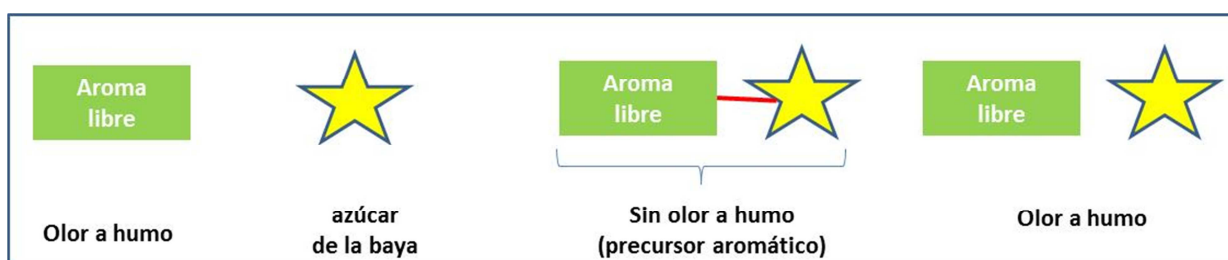


Figura 1. Posibles formas (libres y como precursores aromáticos unidos a glucosa) de los compuestos responsables del “gusto a humo” en los vinos.

Los principales fenoles volátiles libres asociados al gusto a humo son: guayacol, metilguayacol, orto-, meta- y para-cresol (*o*-, *m*- y *p*-cresol), siringol y metil-siringol. Los umbrales de percepción sensorial de estos compuestos son extremadamente bajos (Cuadro 1), debiendo ser analizados por cromatografía de gases acoplada a un detector de espectrometría de masas (GC-MS).

Cuadro 1. Umbrales de percepción sensorial promedio de algunos fenoles volátiles responsables del “gusto a humo” en los vinos (ppb = µg/L).

Compuesto Volátil	Umbral de percepción sensorial
guayacol	23 µg/L
<i>o</i> -cresol	62 µg/L
<i>m</i> -cresol	20 µg/L
<i>p</i> -cresol	64 µg/L

Recientemente se ha establecido nuevos umbrales sensoriales específicamente para vinos tintos, ya que la matriz y complejidad del vino modifica el umbral.

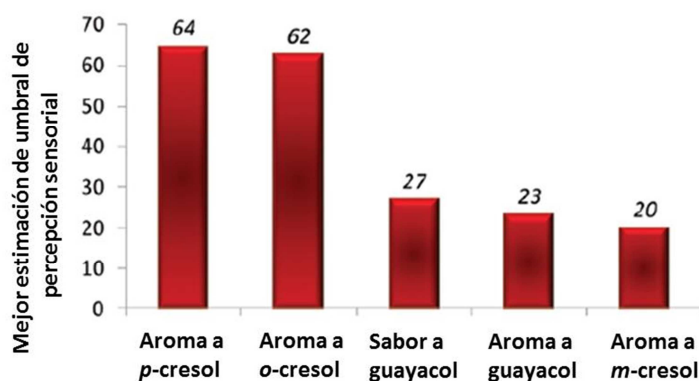


Figura 2. Umbrales sensoriales de aroma y gusto ($\mu\text{g/L}$ o ppb) en vinos tintos del guayacol y cresol en vinos tintos.

En las uvas no expuestas al humo se han observado niveles de 0,1 a 0,3 ppb para el guayacol y el 4-metilguayacol, respectivamente. Niveles de guayacol en bayas por encima de 0,5 ppb sugirieren exposición al humo. No se observan efectos sensoriales por humo en vinos obtenidos a partir de bayas contaminadas con niveles por debajo de 0,5 ppb . En los vinos obtenidos a partir de bayas con niveles de guayacol cercanos a 1 ppb , a veces presentan caracteres ahumados moderados, especialmente los elaborados con uvas blancas cosechadas a mecánicamente.

En bayas contaminadas pueden observarse niveles de guayacol de hasta 55 ppb o más, siendo la relación guayacol / 4-metilguayacol promedio de 3,7 / 1 (Herve et al., 2011).

Relación entre el nivel de contaminación en bayas y en los respectivos vinos. Dado que la vinificación en tinto considera la fermentación del mosto en contacto con hollejos y semillas, los niveles de marcadores de humo en bayas enteras, en lugar del mosto, suelen ser un buen indicador de los niveles finales en los vinos correspondientes. De hecho, el guayacol y 4-metilguayacol medido en muestras de bayas resulta un buen predictor de los niveles potenciales en vinos. Los niveles en vinos jóvenes (en $\mu\text{g/L}$) mostraron un aumento de 5 a 10 veces de guayacol (Figura 3 A), respecto a los encontrados en sus bayas correspondientes (en $\mu\text{g} / \text{kg}$) (Whiting, J y Krstic, M 2007).

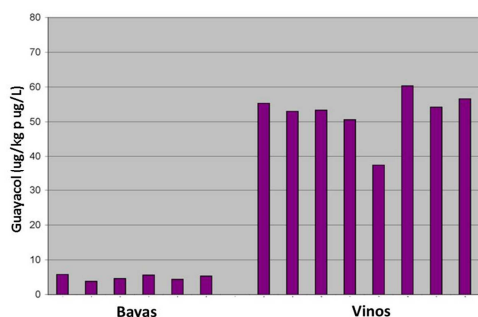


Figura 3 A. Niveles de guayacol medidos en muestras de bayas enteras de Pinot Noir, de un único estado de madurez expuesto al humo, y los niveles en los vinos analizados después de la finalización de la fermentación.

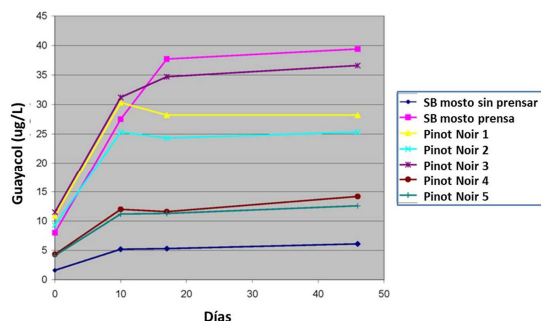


Figura 3 B. Evolución del guayacol durante la fermentación de mostos de uva sin hollejos y post fermentación.

Los niveles de guayacol y 4-metilguayacol han sido medidos durante la fermentación de mostos de uva sin presencia de hollejos (Figura 3 B). Se observó un rápido aumento de estos compuestos durante los primeros 10 a 20 días, estabilizándose luego sus niveles. Los niveles finales en los vinos fueron aproximadamente tres veces mayores que los presentes originalmente en los mostos (Herve et al., 2011).

Herve et al. (2011), observaron que la mayoría de los vinos, blancos o tintos elaborados a partir de uvas con niveles de guayacol por encima de 2 ppb exhibieron caracteres ahumados moderados a marcados. En los vinos no envasados, los niveles de guayacol fueron buenos indicadores de la presencia e intensidad de la contaminación por humo. El descriptor sensorial de "ahumado" fue generalmente identificable aproximadamente a 4 ppb en vinos blancos y 6 ppb en vinos tintos. Una notable excepción serían los vinos del cv. Syrah, donde vinos californianos sin madera, independientemente de la vendimia, a menudo contienen 20 a 40 ppb de guayacol. Dado que el guayacol como el 4-metilguayacol son compuestos presentes en la madera de roble tostado, se debe considerar el aporte adicional de estos compuestos en vinos en que se utilicen maderas con tostado medio-alto en su elaboración.

Efecto de la exposición al humo en la calidad del vino, de acuerdo al estado de desarrollo del racimo.

Kennison et al. (2011) estudiaron el efecto de la exposición al humo en bayas del cv. Merlot en diferentes estados de desarrollo (Cuadro 2), observando diferentes grados de sensibilidad dependiendo del estado fenológico:







- Brotes de 10 cm de longitud a floración: bajo grado de sensibilidad
- Bayas de tamaño de arveja a 3 días post-pinta: sensibilidad variable (media a alta)
- Siete días post-pinta a cosecha: sensibilidad alta

Además de los efectos sensoriales, se ha descrito que la exposición al humo puede generar un retraso en la maduración, habiéndose observado también que en algunas ocasiones, bayas expuestas al humo, presentan concentraciones de azúcar menor a las no expuestas (Kennison et al., 2009). Esto estaría asociado al efecto sobre la fisiología de la vid, en especial a la capacidad fotosintética de la planta. Por otra parte, se ha podido determinar que los efectos del humo solo se observan durante la temporada de exposición de las bayas al mismo, pero la producción se puede reducir considerablemente la temporada siguiente a la exposición al humo (al 50% en algunos casos).

No obstante la mayoría de los estudios del efecto de la exposición al humo han sido realizados en Australia con uvas de la variedad Merlot, se ha podido establecer que hay variedades más susceptibles que otras. En el caso del efecto en los vinos, éste sería menor en vinos blancos que en tintos, dada la menor maceración (contacto con hollejos) asociada a la elaboración de vinos blancos.



Cuadro 2. Estado de desarrollo y efecto potencial de exposición al humo.

Estado de desarrollo		Daño Potencial Humo
T	 Brotes de 10cm de longitud	Bajo
	 Floración	Bajo
T	 Bayas Tamaño Arveja	Bajo a Medio
	 Inicio de «apriete» de racimo	Bajo a Medio
	 Inicio de pinta a 3 días post-pinta	Bajo a Medio
T	 Desde 7 días Post-pinta a Cosecha	Alto

Relación entre la densidad del humo, tiempo de exposición y su efecto.

Para el estudio de la densidad y tiempo de exposición del humo, se utiliza un “nefelómetro”, el cual “mide” el humo en unidades de obturación por metro (%obs/m). Esta medida asocia el impedimento de la visión normal en 1 metro. En la siguiente figura se presenta la relación entre la obturación asociada a la distancia de visión.

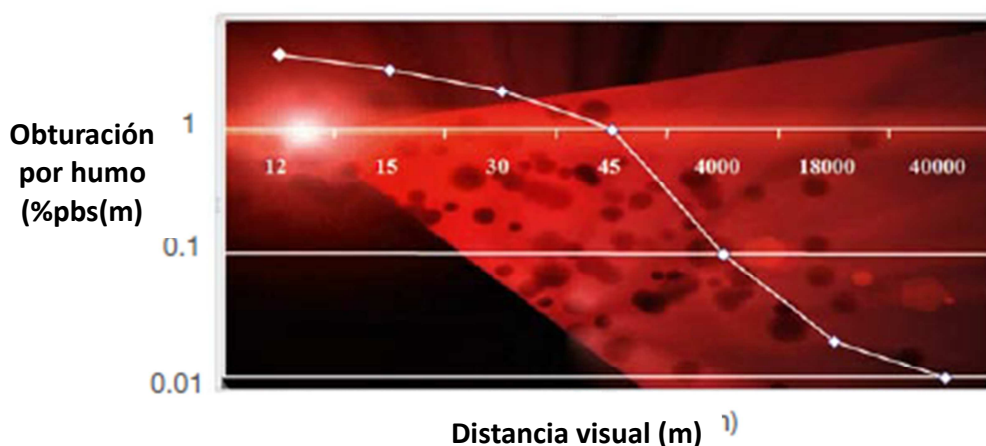


Figura 4. Distancia visual (en metros) en relación con el nivel de obturación por humo (%obs/m determinado por nefelometría).

Los resultados de las investigaciones muestran que una sola exposición fuerte por 30 minutos en un estado sensible (siete días después de pinta a cosecha) es suficiente en bayas del cv. Merlot para generar aromas asociados a humo en el vino (Kennison et al. 2008). No obstante, exposiciones por menos tiempo pueden generar algunos efectos sensoriales que pueden ser percibidos por los consumidores.

Efecto en las características del vino.

Se ha observado que fenoles volátiles (guayacol, 4-metil-guayacol, cresol y siringol) asociados al humo, aumentan durante la fermentación alcohólica y después de la fermentación maloláctica, siendo más rápida la fermentación de mostos de uvas expuestos al humo. Del mismo modo los aromas asociados a fenoles volátiles suelen aumentar en el embotellado y durante el almacenaje de los vinos (Kennison et al., 2008).

Los fenoles volátiles asociados a la exposición al humo de los racimos, pueden reducirse con cosecha manual al evitar la presencia de hojas que pueden ser acarreadas con la cosecha mecanizada. Por otra parte, la separación de fracciones durante el prensado, algunas levaduras (por la retención de compuestos aromáticos que pueden hacer sus manoproteínas) y la osmosis inversa se ha observado que pueden reducir los efectos causados por la exposición al humo de las bayas.

En el Cuadro 3 se presenta un resumen de técnicas posibles de aplicar para reducir el efecto de la exposición de la uva al humo.

Cuadro 3. Técnicas para reducir el aroma a humo durante la manipulación y procesamiento de uvas para la elaboración de vinos.

Técnica	Detalles
Cosecha manual	En la medida de lo posible minimizar la ruptura de bayas. ^{1,2}
Eliminar hojas	La exposición de hojas con el mosto aumentan los aromas a humo
Lavado del viñedo	El lavado de la planta completa puede acentuar la presencia de compuestos asociado a humo en los racimos. ⁶
Evitar daño en la fruta en la cosecha	La maceración de los hollejos previa a fermentación puede acentuar los aromas a humo en los vinos. ²
Mantener baja la temperatura de las uvas	Uvas procesadas a 10°C tienen menor concentración de compuestos asociados a humo que aquellas procesadas a 25°C. ^{1,2}
Separar las fracciones de prensado	Las fracciones de prensado con menor presión tienen menor concentración de compuestos asociados al humo. ^{1,2,3}
Hacer ensayos de agentes clarificantes	El PVPP y el carbón activo pueden reducir el nivel de compuestos asociados a la exposición con humo, pero al no ser selectivos se deben hacer ensayos previos. ^{1,2,3}
Considerar seleccionar ciertas levaduras	Algunas levaduras pueden modificar la concentración de compuestos asociados a exposición con humo. ⁴
Minimizar en lo posible el tiempo de contacto con hollejos	Fermentaciones más cortas reducen la presencia de aromas asociados a humo. ^{1,4,5}
Adición de chips de roble	Los chips de roble pueden reducir el impacto sensorial de los aromas asociados a humo, al aumentar la complejidad de los vinos. ⁴
Uso de osmosis inversa	Esta técnica puede ayudar a disminuir el aroma a humo, pero se observado que el problema persiste pasado un tiempo almacenado el vino. ⁶
Referencias	¹ Simos 2008, ² Whiting and Krstic 2007, ³ Ulrich 2009, ⁴ Ristic 2011, ⁵ Kennison et al. 2008, ⁶ Fudge et al. 2011, ⁷ Høj et al. 2003, ⁸ Kennison 2009.

Fermentación a pequeña escala. En forma preliminar a una fermentación industrial, se puede hacer una fermentación a pequeña escala de las uvas potencialmente afectadas (30 racimos cosechados de forma aleatoria en el viñedo; ≈ 2kg). Esto permite a las bodegas llevar a cabo la evaluación sensorial de los vinos a pequeña escala y además determinar el riesgo potencial a “sabor a humo” que puede desarrollar un vino.

Manejo de viñedos dañados por el fuego.

Durante un incendio, las vides pueden ser dañadas, ya sea directamente por la acción de las llamas o bien por efecto de la exposición a altas temperaturas. Dependiendo del nivel de daño, las vides pueden recuperarse por completo o bien decaer y morir. El daño por fuego suele ser muy variable e inconsistente dados diferentes afectos asociados a condiciones climáticas, ferocidad del fuego y estado de crecimiento (fenológico) de la vid. No obstante lo anterior, en general, las vides suelen rebrotar gracias a yemas latentes que se ubican en su corona, si esa zona no ha sido dañada.

Son pocos los estudios desarrollados que apunten a determinar el nivel de daño por incendios y proponer tratamientos de poda.

Evaluación visual de las viñas.

La evaluación permite determinar el nivel de daño, que puede ir desde “**daño no visible**” (DNV); **bajo** (“hojas chamuscadas por quemaduras”); **medio** (daño a hojas, inflorescencias/frutos); o **alto** (severas quemaduras o daños a todas las partes de la planta por contacto con el fuego).

El mayor daño interno puede comprobarse fácilmente a los pocos días de un evento de fuego, pero el alcance total del daño puede no ser evidente hasta la temporada siguiente. La capa de **cambium** es una banda estrecha de tejido ubicada debajo de la corteza que produce el sistema vascular de la planta. El sistema vascular conduce agua, nutrientes y hormonas a través de la planta de vid y el nuevo tejido se produce todos los años. Una vez que esta capa muere, no se produce nuevo tejido vascular y esa parte de la vid muere. Al oscurecer debajo de la corteza, no siempre es posible determinar el estado de la capa de cambium con la simple observación externa.

Existen dos métodos para comprobar la viabilidad de los tejidos internos de la vid. El primero de ellos es **no destructivo** y cada planta se puede analizar comprobando su nivel de daño. Con un cuchillo afilado, se hace un pequeño corte en la madera, al igual que la utilizada en T en ciernes, para determinar el estado de la capa del cambium y el tejido vascular (Figuras 5 y 6). Si el tejido es húmedo y de color blanco cremoso con un tinte verdoso, el cambium está vivo y la vid tiene una buena posibilidad de recuperación. Si el cambium es seco y de color café, entonces está muerto y esa parte de la vid no crecerá. El fuego puede dañar uno de los lados de la planta de vid, pero no el otro, por lo que puede ser necesario comprobar algunas secciones alrededor del tronco.

El segundo método de control de la viabilidad es **destructivo** y consiste en hacer un corte transversal, tiñendo el tejido con azul de metileno. Esta última técnica es más útil para evaluar la viabilidad de una gran superficie de vides y considerar su posible eliminación.

En detalle la evaluación es el siguiente:

- **Evaluación del cambium (zona cambial):** como se señaló, el cambium es el tejido que se encuentra entre la corteza y la madera. Constituye la base del crecimiento de plantas leñosas como la vid. Cada año el cambium origina dos capas de células



adultas. La primera, hacia el interior, células leñosas que forman la albura del leño (**xilema**) y que transportan agua y nutrientes desde las raíces; éstas son las que forman la madera y se reconocen luego como anillos de crecimiento. La segunda, hacia afuera, células liberianas es otro tipo de tejido llamado **floema** o líber, que transporta la “savia elaborada” en dirección a las raíces. El cambium se localiza entre xilema y floema en el tallo y la raíz. Para la evaluación del cambium se hace una incisión con un cuchillo pequeño en el tronco determinando el color del tejido del cambium. El tejido sano es húmedo y verde, tejido dañado es seco y pálido, mientras que muerto el tejido es seco y café (Figura 6) (Whiting 2011).

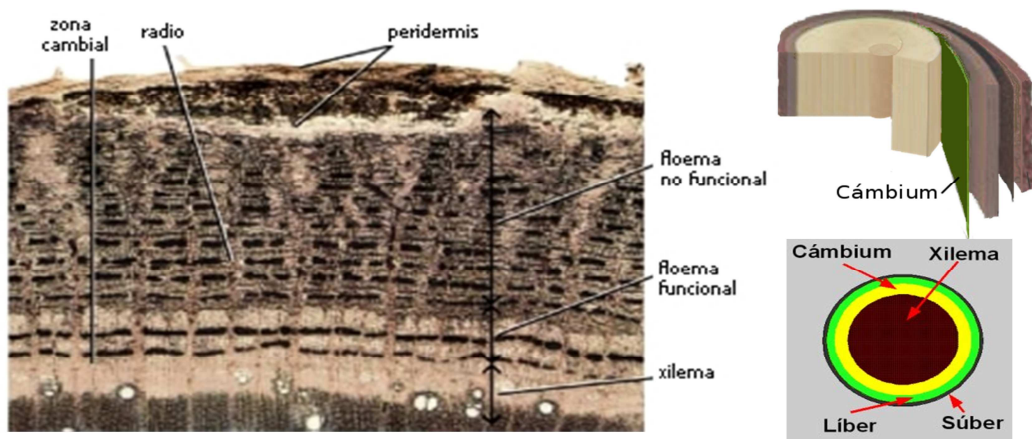


Figura 5. Zona cambial el plantas leñosas como la vid.



Figura 6. De izquierda a derecha: tejidos sanos, dañados o muertos en vides.

- **Teñido del tronco:** esto fue investigado por Scarlett et al. (2011) donde secciones transecto del tronco son cortadas y se tiñen con azul de metileno. Si el segmento es azul brillante entonces el tejido es 'viable'. Si el segmento del tronco es azul o café sucio entonces el tejido es 'inviable'. Este método es destructivo para las viñas, pero proporciona una Indicación del efecto del incendio, siendo útil para evaluar la **viabilidad de una gran superficie de vides** y considerar su posible arranque.



- **Disección de brotes para estudiar viabilidad de yemas:** puede proporcionar indicación de viabilidad y potencial fecundidad de los brotes. Con una lupa de gran aumento (Figuras 7), la disección de los brotes indica si están vivos (verdes) o muertos (café/negro) (Figura 8). La disección se realiza mejor antes de la poda de invierno con el fin de proporcionar el número óptimo de yemas a retener en la vid y su posición dentro de la canopia (follaje).

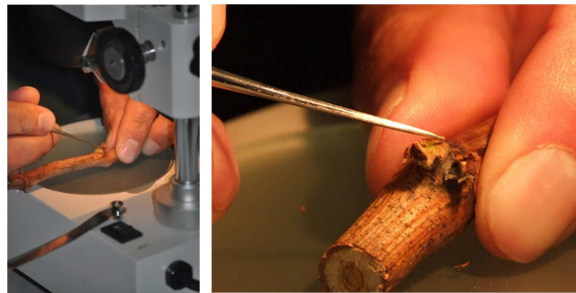


Figura 7. Determinación de viabilidad de yemas con lupa.



Figura 8. De izquierda a derecha: A: corte de yema sana; B: corte de yema con inicio de necrosis central y por tanto muerte del brote; C) corte de yema principal del centro muerta, pero yemas secundarias laterales viables.

Después de la evaluación exhaustiva del efecto de un incendio, una serie de técnicas de gestión pueden ayudar a la recuperación de las vides, **recuperación que es posible en la mayoría de los casos, pero que toma tiempo**. Las técnicas dependen de la gravedad del daño, incluyendo:

- **Sin daños:** continúe los manejos de la vid como de costumbre, prestando atención al estado sanitario de la vid y aplicando riego adicional a viñas que muestren síntomas de estrés por exposición al calor del fuego.
- **Bajo nivel de daño:** continúe los manejos habituales del viñedo, aplicando riego adicional después del incendio (en la medida de lo posible, considerando el daño potencial de las líneas de riego causadas por el fuego o la disponibilidad de agua en zonas de secano). Considere una estrategia de disección de brotes para definir la poda y mantener los brotes viables durante el receso de invierno de la vid.



- **Daño medio:** se recomienda aplicar riego tan pronto como sea posible después de la exposición al fuego (en la medida de lo posible). Se debe monitorear las vides por el estrés y otros signos de disminución de actividad, examinando el estado del cambium en los troncos. Se debe determinar en invierno la viabilidad de las yemas para definir dejar brotes adicionales en la poda que permitan mantener el nivel de crecimiento y de producción. La viabilidad de las yemas de la vid puede verse afectada en la siguiente temporada, pudiendo ser necesario **promover desarrollo de nuevo material desde la corona y los brazos** en aquellas plantas más afectadas (Figura 9-10). No obstante el fuego puede alcanzar las zonas aéreas de la planta, la zona de la corona muchas veces no es dañada, permitiendo la regeneración de la vid tras la brotación de yemas basales latentes.



Figura 9. Madera vieja de la vid. Presencia de yemas latentes que pueden brotar permitiendo la aparición de crecimiento vegetativo (“chupones”).

- **Daño alto:** la probabilidad de supervivencia es baja en este caso, no obstante en viñedos a pie franco es probable la recuperación a partir de yemas de la corona (Figura 9-10). La vid debe ser irrigada para estimular la recuperación, aunque métodos destructivos para evaluar la supervivencia de las plantas (tinción del tronco) proporcionarán en algunos viñedos una indicación inmediata de viabilidad. Las plantas pueden ser mínimamente podadas para estimular el crecimiento de los brotes en yemas viables. El reemplazo de la planta o injerto pueden ser necesarios en vides improductivas o con pocos puntos de crecimiento.



Figura 10. Viñedo con daño bajo-medio (izquierda, solo hojas chamuscadas) y daño alto (derecha, con quemaduras del tronco y brotes) por efecto del fuego.

En respuesta al daño por fuego

En vides con las hojas que están parcial o totalmente chamuscadas se debe eliminar la fruta para disminuir la competencia por agua, hidratos de carbono y nutrientes favoreciendo el desarrollo del tejido vegetativo para asegurar la viabilidad en el tiempo de las plantas. Las uvas manchadas por humo y que resulten impropias para la vinificación debieran eliminarse prioritariamente.

Es fundamental, en la medida de lo posible, reponer el riego en la temporada del incendio en especial si existen condiciones ambientales que pudiesen permitir crecimiento vegetativo. El estado fenológico en que ocurran los daños causados por incendios en los viñedos también influye en el grado de respuesta de la planta al daño por fuego.

- El daño por fuego **antes del cuajado del fruto** puede dar tiempo suficiente para la regeneración del tejido vegetativo, permitiendo que se endurezca antes del periodo de heladas de otoño, de tal manera que la regeneración se puede utilizar para la poda de la temporada siguiente. Sin embargo, es probable que sea baja la fecundidad de yemas en el material que rebrote.
- El daño por fuego **después de la pinta** no proporciona suficiente tiempo para que vuelva a crecer de manera adecuada el follaje y proporcionar material de poda adecuada para la temporada siguiente. Cualquier inflorescencia en el nuevo crecimiento que pudiese crecer debe ser retirado para favorecer el crecimiento vegetativo. No hay tiempo suficiente para el crecimiento reproductivo para producir un cultivo viable y es importante eliminar la fruta que pudiese aparecer tardíamente para maximizar el almacenamiento de hidratos de carbono para el crecimiento de la vid en la temporada siguiente. En la mayoría de los casos, y desde luego cuando se produce



FACULTAD DE CIENCIAS
AGRONÓMICAS
UNIVERSIDAD DE CHILE



Grupo de Investigación Enológica
Universidad de Chile

el daño por fuego después de pinta, las vides se deben dejar volver a crecer, tiempo en el cual se deben hacer las evaluaciones de viabilidad para determinar la mejor estrategia para hacer frente a la poda invernal de la viña. Con un alto grado de muerte de las plantas o daño considerable, puede ser preferible eliminar un bloque completo y volver a plantar. Con un menor grado de daño puede valer la pena la replantación de vides, reemplazando aquellas plantas muertas, pero a menudo es difícil de manejar bloques con edades de vides mixtas.

Poda del viñedo expuesto al fuego: cuando se considera podar un viñedo afectado por un incendio, se debe tener presente que esto puede ser útil cuando se produce un daño precoz de incendios en la temporada, es decir antes de la cuaja. La poda después de pinta no siempre se justifica porque el nuevo crecimiento tiene un tiempo limitado en el que podrá crecer y madurar antes de que el periodo de heladas otoñales ocurra, lo cual depende de la zona de cultivo.

La experiencia ha demostrado que las vides afectadas por un incendio pueden tomar de **2 a 3 años para volver a la producción total** y algunas vides todavía pueden colapsar después de mostrar signos iniciales de recuperación, pero en general **la vid es una planta con una gran capacidad de regeneración ante condiciones adversas.**

Referencias

- Fudge, AL, Ristic, R, Wollan, D & Wilkinson, KL 2011, Amelioration of smoke taint in wine by reverse osmosis and solid phase adsorption. *Australian Journal of Grape and Wine Research* 17(2), S41-S48.
- Herve, E.; Price, S.; Burns, G. "Free Guaiacol and 4-Methylguaiacol as Markers of Smoke Taint in Grapes and Wines: Observations from the 2008 Vintage in California.", *Proceedings of the 9e Symposium International d'Œnologie*, Bordeaux, France, 2011.
- Høj, P, Pretorius, I & Blair, R (eds) 2003, The Australian Wine Research Institute Annual Report 2003. (The Australian Wine Research Institute, Adelaide, Australia) pp.37-39.
- Kennison, KR 2009, Bushfire generated smoke taint in grapes and wine. Final report to Grape and Wine Research and Development Corporation, RD 05/02-3.
- Kennison, KR, Gibberd, MR, Pollnitz, AP & Wilkinson, KL 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, 7379-83.
- Ristic, R, Osidacz, P, Pinchbeck, KA, Hayasaka, Y, Fudge, AL & Wilkinson, KL 2011, The effect of winemaking techniques on the intensity of smoke taint in wine. *Australian Journal of Grape and Wine Research* 17(2), S29-S40.
- Scarlett, N, Needs, S & Downey, MO 2011, Assessing vineyard variability after bushfire. *The Australian and New Zealand Grapegrower and Winemaker* 564, January 21-25.
- Simos, C 2008, The implications of smoke taint and management practices. *Australian Viticulture* Jan/Feb 77-80.
- Ulrich, T 2009, When the smoke cleared: California winemakers face tough pre-bottling decisions for 2008 wines. *Wines and Vines* July 46-52.
- Whiting, J 2011, Grapevine recovery from fire damage. Poster abstract in *Proceedings of the 14th Australian Wine Industry Technical Conference*, Adelaide, 3-8 July 2010, R Blair, T Lee, S Pretorius (eds).
- Whiting, J & Krstic, M 2007, Understanding the sensitivity to timing and management options to mitigate the negative impacts of bush fire smoke on grape and wine quality – scoping study. Department of Primary Industries, Knoxfield, Victoria.