The Wine EXPERT

Información práctica sobre elaboración de vino

EL MANEJO DEL ACETALDEHÍDO DURANTE LA VINIFICACIÓN

¿Qué es el acetaldehído?

El acetaldehído (o etanal) es el compuesto carbonílico volátil más importante del vino que puede formarse tanto biológicamente (mediante la actividad de la levadura) como químicamente (por oxidación del vino). Es una pequeña molécula de alta reactividad con un aroma que nos recuerda a hierba verde, manzana o nueces. Es muy volátil y activo en el sabor (Nykanen, 1986) con un umbral de percepción de aproximadamente 100 mg/L en vinos y químicamente muy reactivo.

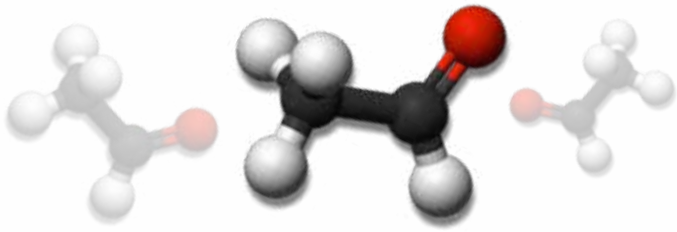

Figura 1: Estructura molecular del acetaldehído (CH_3CHO)

¿Por qué es importante en el vino?

Jakowetz *et al.*, (2011) han determinado que los compuestos combinables con el SO_2 más importantes son el acetaldehído y los ácidos el pirúvico y α-cetoglutárico por sus propiedades de combinación y sus concentraciones habitualmente altas en los vinos. El acetaldehído representa típicamente un 75 % del SO_2 combinado en los vinos blancos y un 50 % en los vinos tintos. Su reactividad y su capacidad de combinación con los sulfitos explica en buena parte por qué los vinos necesitan distintas cantidades de SO_2 y por qué es importante un buen manejo del dióxido de azufre en la bodega para asegurar la estabilidad luego del embotellamiento.

Se han realizado esfuerzos considerables para reducir los contenidos de SO_2 en los vinos, teniendo en cuenta la creciente sensibilización de los consumidores con respecto a los efectos del SO_2 en la salud (Yang y Pourchase, 1985; Snelten y Schaafsma, 1992). Sin embargo, cuanto mayor es la concentración de acetaldehído en el vino, mayor es la necesidad de SO_2, lo que puede ser motivo de preocupación. Además, el acetaldehído es a su vez toxicológicamente relevante. Se enlaza fácilmente a las proteínas (Tuma y Sorrell, 1985) y al ADN (Hemminki y Suni, 1984).

¿Cómo se maneja el acetaldehído?

La levadura enológica: Las concentraciones de acetaldehído más elevadas se forman por el metabolismo de la levadura al principio de la fermentación alcohólica. La levadura enológica *Saccharomyces cerevisiae*, espontánea o seleccionada, excreta acetaldehído durante las fases iniciales de la fermentación alcohólica. Una vez alcanzado su valor máximo, el acetaldehído es, hasta cierto grado, reutilizado. Las cantidades alcanzadas varían bastante y están sujetas a las condiciones de fermentación y a la levadura dominante involucrada (Ebeler y Spaulding, 1999; Millau y Ortega, 1988, Cheraiti *et al.*, 2009). Otras especies, además de la *Saccharomyces cerevisiae*, producen acetaldehído en los vinos, como la *Schizosaccharomyces pombe* y la *Zygosaccharomyces bailii*.

La producción de acetaldehído se puede reducir seleccionando la levadura apropiada (Romano *et al.*, 1994, Cheraiti *et al.*, 2009, Jackowetz *et al.*, 2012). Depende principalmente de la cepa, pero es independiente de la cantidad de biomasa producida. En muchos casos, una cepa de levadura con una población más alta no es necesariamente la que tiene la

¿Cómo se maneja el acetaldehído?

mayor producción de acetaldehído ó, por ende, degradación. Hay siempre dos valores a evaluar cuando se mide el acetaldehído: el nivel máximo, que se alcanza y se mide al final de la fase de crecimiento exponencial y, el nivel final, que se alcanza y se mide al final de la FA. El valor final es importante por varias razones. Por un lado, cuando se encuentran altos niveles de acetaldehído, hay consecuencias en cuanto al SO_2 combinado a esta molécula. Por otro lado, en vinos rosados y tintos, ciertos niveles pueden ayudar a estabilizar el color, pero si los niveles se encuentran de nuevo por encima del umbral, tienen un impacto en las características sensoriales de los aromas manzana y nueces que no siempre son deseados. Por ende, es importante realizar una selección adecuada de la levadura para la producción de acetaldehído según el estilo de vino deseado.

Normalmente, los vinos elaborados con los métodos de vinificación modernos poseen cantidades bastante reducidas de acetaldehído al final de la fermentación alcohólica, alrededor de 20 ppm en los tintos y 40 ppm en los blancos. Respecto a la reutilización de acetaldehído por la levadura, las prácticas enológicas que mantienen una gran cantidad de levadura viable en toda la fermentación permiten una reutilización más adecuada del acetaldehído. Por consiguiente, agregar nutrientes de levadura y mantener una temperatura moderada (20 °C) conlleva una reducción de residuos de acetaldehído, mientras que mantener una temperatura fría (12°C) durante toda la fermentación, sin agregar nutrientes, implica mayores cantidades de residuos (Jackowetz *et al.*, 2012). Jackowetz *et al.* (2012) demostraron que la levadura produce más acetaldehído en respuesta a las adiciones de SO_2.

¿Cómo se maneja el acetaldehído?

Bacterias enológicas: Después de la fermentación alcohólica y de la eliminación de la levadura, existen pocas otras formas de reducir el acetaldehído restante. Desde hace mucho tiempo, se ha señalado que las bacterias enológicas contribuyen a la degradación del acetaldehído (Somers y Wescombe 1987). En un estudio más reciente, Jakowetz *et al.* (2011) han mostrado cambios en los valores del acetaldehído durante la elaboración del vino. La figura 2 de Jakowetz *et al.* (2011) muestra que la formación biológica inicial por levadura es seguida por una reabsorción parcial. El segundo incremento se debe a la oxidación química involuntaria del etanol. A los 27 días, el vino fue inoculado con bacterias para inducir la fermentación maloláctica, eliminando prácticamente todo el acetaldehído. La coinoculación de la levadura y de las bacterias puede representar una práctica enológica interesante puesto que las bacterias enológicas pueden usar el acetaldehído y la levadura puede producir distintas cantidades de este compuesto. Por ejemplo, en vinos blancos, el aporte de acetaldehído es principalmente negativo porque aumenta el enlace y los niveles totales de SO_2. La coinoculación es, entonces, una excelente opción para controlar la producción de acetaldehído, además de poseer otras ventajas (más rápida que la FML y la contribución sensorial).

La fermentación maloláctica lleva también a una reducción importante del ácido pirúvico y a la diminución parcial del ácido alpha-cetoglutárico. Por consiguiente, la fermentación maloláctica puede representar una contribución substancial para alcanzar unos niveles más bajos de SO_2 combinado y total por la degradación de estos compuestos combinables al SO_2. Cuando se busca una degradación máxima de acetaldehído, los vinos no deberían ser estabilizados hasta siete o diez días después del consumo del ácido málico.

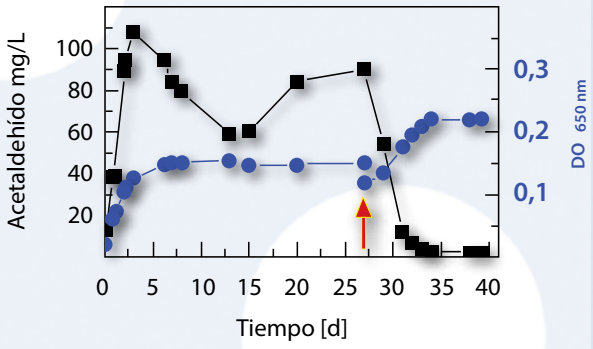

Figure 2 : Evolución típica de los niveles de acetaldehído durante la FA y la FML. La línea azul marca la turbidez y muestra el crecimiento de la levadura y de las bacterias. La FML fue inoculada después de 27 días (tal como lo indica la flecha).

Ramón Mira de Orduña

Ramón, profesor de enología a la Escuela de Ingenieros de Changins en Suiza, dirige el análisis enológico y el laboratorio después de haber sido profesor a la Cornell University (EE. UU) y a la University of Guelph (Canadá). Realiza investigaciones sobre las levaduras enológicas, el metabolismo y la interacción de las bacterias y sobre la automatización de la fermentación. Desde 1999, estudia la incidencia del acetaldehído y de su metabolismo en la levadura y las bacterias. Es autor de 30 artículos en revistas científicas y publicaciones técnicas, ha dado 90 conferencias en todo el mundo y ha supervisado 22 estudiantes de posgrado y posdoctorado.

PALABRA DE NUESTRO EXPERTO

Para comprender las fuentes y los sumideros (formación y degradación) del acetaldehído en los vinos, se deben estudiar los aspectos microbiológicos y químicos por separado. El acetaldehído es formado por la levadura durante la fase de fermentación temprana y lo degrada la levadura (en la segunda fase FA) y las bacterias malolácticas. Se forma químicamente por oxidación del etanol por las especies reactivas del oxigeno que se forman al airearse el vino, sea a propósito (p. ej. por remontado o micro oxigenación) o involuntariamente, especialmente, y por la absorción de oxígeno durante los trasiegos, remontados, la filtración o el embotellado. La velocidad de tales reacciones dependen en gran parte de la temperatura y requieren la presencia de metales de transición (Cu, Fe) y de sustancias fenólicas. Otras reacciones químicas, como la polimerización de sustancias fenólicas pueden llevar a su consumo.

En el metabolismo de la levadura, el acetaldehído sirve de aceptador de electrón terminal de la fermentación alcohólica y, por ende, es esencial para el balance redox (antioxidantes y pro-oxidantes) de la levadura y su capacidad de generar energía a través de la glicólisis. Si el acetaldehído es aglutinado por el SO_2, producido por la levadura o agregado por el enólogo, no está disponible para cumplir con este importante rol. La levadura compensará este enlace mediante un incremento en la producción de acetaldehído que, eventualmente, lleva a mayores niveles de SO_2 combinado en los vinos. Las bacterias malolácticas pueden, también, incrementar la eficiencia energética de su metabolismo reduciendo el acetaldehído libre en etanol. Por otra parte, la degradación del acetaldehído combinado con SO_2 tiene un efecto inhibitorio porque el SO_2 liberado intracelularmente retrasa la FML. Mientras que los vinos blancos contienen normalmente alrededor de 40 mg/L de acetaldehído (¡combinando cerca de 60 mg/L de SO_2!), su concentración en vinos tintos es de 20-25 mg/L por el efecto de la fermentación maloláctica.

Si se trata de reducir las concentraciones totales de SO_2, es esencial un buen conocimiento del metabolismo del acetaldehído de la levadura y de la bacteria. La excreción inicial de acetaldehído puede ser reducida disminuyendo la adición de SO_2 y la selección de una levadura que produzca poco acetaldehído. La FML puede contribuir de manera importante a la reducción de SO_2 requerido, degradando el acetaldehído así como otros carbonilos combinados por el SO_2. La FA y la FML simultáneas son interesantes en este contexto, porque las bacterias degradarán inmediatamente el acetaldehído no bien la levadura la forma. Este proceso conlleva a menos residuos de acetaldehído y contribuye a una menor necesidad de SO_2 en los blancos. En los tintos, donde el acetaldehído puede contribuir positivamente al color y a la sensación en boca, se puede demostrar que las aeraciones (p. ej. por remontados) neutralizan el efecto de la degradación bacteriana.

RESULTADOS

Los primeros resultados que se muestran están relacionados al estudio realizado a partir de un mosto sintético con 3 levaduras distintas: Lalvin S6U, Lalvin ICV D254 y Lalvin QA23. Todas estas levaduras tienen diferentes índices de fermentación. En la figura 3, podemos observar que hay un fuerte incremento en la producción de acetaldehído durante la fase exponencial. Se encuentra seguido posteriormente por una reducción hasta el final de la fermentación alcohólica. En este estudio, la concentración varía al máximo entre Lalvin S6U a 0,147 g/L, Lalvin QA23 a 0,087g/L y Lalvin ICV D254 a 0,05 g/L, mientras Lalvin S6U, de fermentación más lenta, obtuvo una mayor producción de acetaldehído. Sin embargo, la concentración final es bastante similar para las tres levaduras, a pesar de la variación de los niveles máximos.

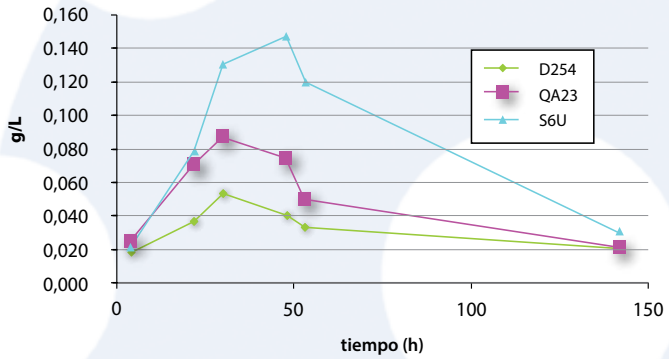

Figura 3: Producción de acetaldehído por tres levaduras seleccionadas en mosto sintético (MS300, 24 °C, 25 g/hl).

RESULTADOS

Las levaduras enológicas de Lallemand se han caracterizado en relación a la producción de acetaldehído en mosto sintético durante la fermentación alcohólica. Podemos ver en las figuras 4a y 4b que, a pesar de que ciertas levaduras tienen concentraciones máximas muy altas de acetaldehído a media fermentación (Figura 4b), pueden variar en la concentración final (Figura 4a). Por ejemplo, la levadura 21, muestra hasta 120 mg/L durante su producción máxima, uno de los niveles más elevados, pero la concentración final regresa a un nivel medio de 15 mg/L. En general, quedó también comprobado que no existe correlación entre el nivel máximo y el nivel final.

La nueva levadura Lalvin ICV OKAY® no solo es un productor de acetaldehído con unos niveles finales extremadamente bajos, sino que también tiene la capacidad de producir niveles muy bajos o nulos de SO_2 y H_2S. Esta es una característica muy importante respecto a la preocupación en relación a los niveles de SO_2 y, por ende, a la producción de acetaldehído por las propiedades combinables de este compuesto con el SO_2.

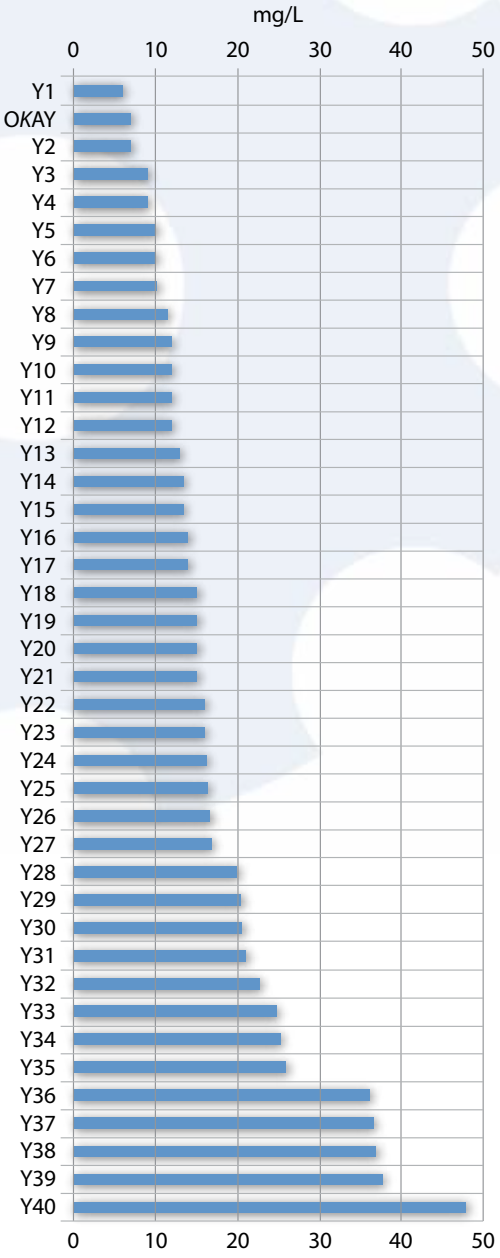

Figura 4a: Clasificación de las levaduras en relación a su producción final de acetaldehído durante la fermentación alcohólica.

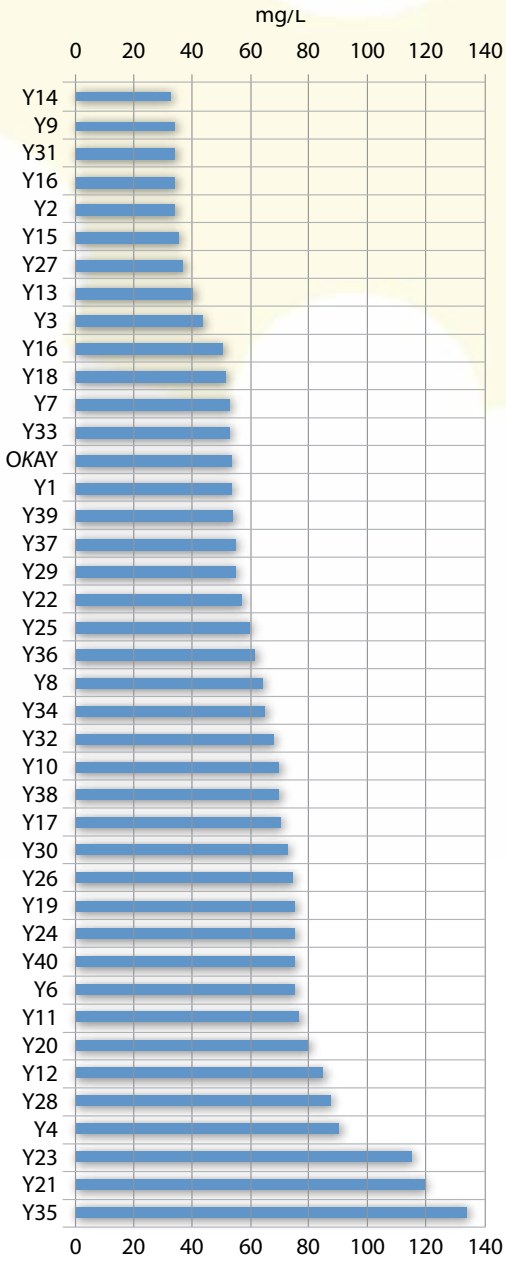

Figura 4b: Clasificación de las levaduras en relación a su producción máxima de acetaldehído durante la fermentación alcohólica.

RESULTADOS

Las bacterias enológicas poseen también la capacidad de metabolizar el acetaldehído. Como se observa en la figura 5, durante la fermentación maloláctica, las bacterias enológicas degradan el acetaldehído con un leve retraso respecto a la degradación del ácido málico. Este factor es importante a la hora de la selección de las bacterias, puesto que no solo deben ser compatibles con la levadura que fermenta el mosto, sino también la sinergia positiva entre la capacidad de la levadura de producir acetaldehído y las bacterias del vino para usarlo eficazmente, debe ser tomada en cuenta cuando se emparejan los microorganismos en vista a la FML post FA o la coinoculación. En un estudio realizado por Wei *et al.* (2011), se mostró que las concentraciones de acetaldehído alcanzaban su punto máximo en las primeras fases fermentación de un Chardonnay sin importar el momento de inoculación de las bacterias malolácticas. Sin embargo, el pH tuvo un fuerte impacto sobre la concentración máxima de acetaldehído según se había llevado a cabo la práctica de la coinoculación o la incoculación post FA (Cuadro 1).

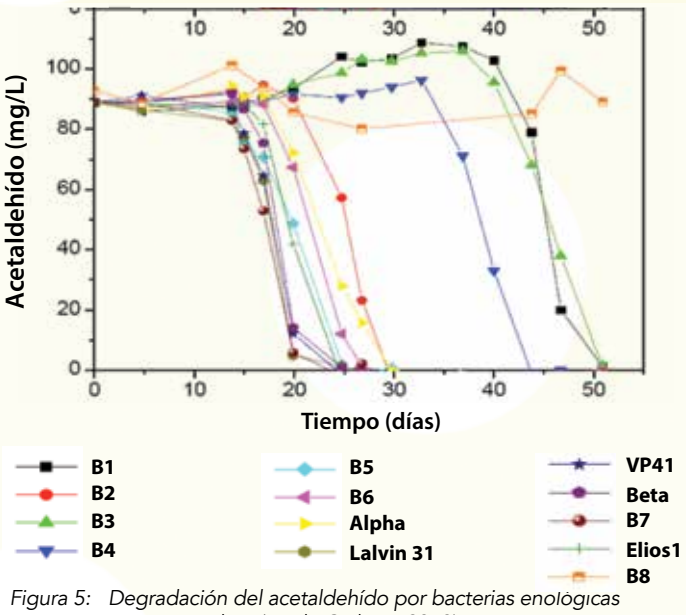

Figura 5: Degradación del acetaldehído por bacterias enológicas en vino Riesling (M. de Orduña, 2010)

Valor final		pH 3,2	pH 3,35	pH 3,5	pH 3,65
Acetaldehído mg/L	Post FA	29,6	30,4	16,0	12,6
	Coinoculación	19,0	12,5	15,4	7,3

Cuadro 1: Valores de acetaldehído en vinos de Chardonnay producidos en post FA o en coinoculación para 4 valores diferentes de pH inicial (adaptado de WEI et al*, 2011)*

Cuando el pH era elevado, las diferencias entre las técnicas de inoculación fueron menores. Después de alcanzar su punto máximo, los niveles de acetaldehído disminuyeron en todas las fermentaciones, pero la reducción fue más rápida en la coinoculación y en su correlación con la degradación del ácido málico. Los niveles residuales de acetaldehído eran inferiores en los vinos producidos por coinoculación, lo que se reflejaba por los niveles de SO_2 combinado.

Jackowetz *et al.* (2011) hicieron una correlación entre la reducción de compuestos carbonilicos como el acetaldehído y los niveles de SO_2 combinado. Para todas las cepas de bacterias enológicas, la reducción de los niveles promedios de SO_2 combinado durante la FML fue de 22 %. La mayor reducción del contenido de carbonilo en el vino ocurrió la semana siguiente de haberse completado la FML y fue de 53 % (reducción de 107 mg/L a 34 mg/L) calculado como SO_2 combinado.

UN BREVE RESUMEN

La selección de la levadura enológica y de la bacteria adecuada, son factores claves para determinar los niveles finales de acetaldehído producidos. Si el SO_2 es objeto de preocupación, entonces el uso de una levadura con una producción final baja en acetaldehído como la Lalvin ICV OKAY® es muy importante. Las bacterias enológicas pueden también servir de aliados por su consumo de acetaldehído durante la fermentación maloláctica. Si el color es un problema, y dado que el acetaldehído puede ayudar a estabilizarlo, entonces se puede usar una levadura con producción de mediana a elevada. Cuando se prefiere la coinoculación de la levadura y bacteria, aquellas consumen el acetaldehído producido por la levadura durante la fermentación maloláctica. Un manejo adecuado de la fermentación y de la nutrición, así como el manejo del oxígeno, mostraron también tener una influencia en la concentración de estos compuestos.