

INFLUENCIA DE DIFERENTES TAPONES DE ROSCA EN LA CALIDAD DEL VINO

Volker Schneider

Schneider-Oenologie, 55413 Weiler bei Bingen, Alemania

schneider.oenologie@gmail.com

Introducción

Los vinos blancos afrutados pueden desarrollar diferentes expresiones sensoriales del envejecimiento. El más conocido de ellos es el envejecimiento tradicional, que se intensifica por la absorción de oxígeno a través del cierre de la botella. Por el contrario, este fenómeno se ve en gran medida impedido con el uso generalizado de tapones de rosca, en particular con aquellos que contienen discos de sellado que cierran herméticamente. En efecto, estos sistemas de cierre favorecen el llamado envejecimiento reductor que da lugar a la formación de notas de reducción en botella. El desarrollo de un revestimiento funcional para tapones de rosca ofrece una solución a este problema.

Cuando un mismo vino se embotella con diferentes cierres, la aparición de diferentes vinos tendrá lugar ya desde el inicio. En los vinos blancos, se desarrollan esencialmente cuatro expresiones sensoriales diferentes de maduración y envejecimiento:

- Envejecimiento típico u oxidativo,
- Envejecimiento atípico (ATA),
- Gusto a gasolina,
- Envejecimiento reductor.

Sin duda, todo vino blanco está sujeto a envejecimiento. La cuestión es: cuál de los tipos de envejecimiento mencionados anteriormente tiene lugar y a qué velocidad se desarrolla. En la mayoría de los vinos, el cierre de la botella y, en particular, su permeabilidad al oxígeno, desempeña un papel fundamental.

Existen diferentes reacciones químicas y compuestos olorosos responsables de la formación de las diversas formas de envejecimiento. Dos de estos tipos de envejecimiento están predeterminados por factores vitícolas. El aroma de gasolina, por ejemplo, aparece casi exclusivamente en los vinos Riesling obtenidos a partir de uvas fisiológicamente maduras cultivadas en condiciones de clima cálido, mientras que el desarrollo de un envejecimiento atípico se observa exclusivamente en los vinos obtenidos a partir de frutas estresadas. La aparición de estos dos tipos de envejecimiento muy específicos no está relacionada con la disponibilidad de oxígeno. En consecuencia, no se ve afectada por la permeabilidad al oxígeno (OTR) del cierre de la botella.

Independientemente de su formación, la evolución del gusto a gasolina aumenta significativamente con los tapones de rosca porque, a diferencia de los cierres de sellado interno como los tapones de corcho, estos contienen poco material capaz de absorber el compuesto con gusto a gasolina (TDN).

Envejecimiento típico u oxidativo

La situación es completamente diferente con el envejecimiento oxidativo. Se trata de una expresión sensorial bien conocida y, a nivel mundial, la más frecuente del envejecimiento de los vinos blancos. Se debe principalmente a la entrada de oxígeno a través del cierre de la botella. En este proceso, determinado por la presencia de oxígeno, se forman compuestos olorosos, siendo benzaldehído, 2-fenilacetaldehído, 3-metilbutanal y furfural los más importantes y considerados como sustancias indicadoras (Escudero et al.2002, Ferreira et al. 2003, Pons et al.2015). Son aldehídos superiores que se forman por oxidación de sus correspondientes alcoholes. Sus notas aromáticas de frutos secos, hierbas secas, miel, verduras cocidas y patatas cocidas enmascaran progresivamente el aroma varietal afrutado y provocan un característico aroma madeirizado en los casos más extremos.

A diferencia del conocido acetaldehído, que en su forma libre desprende un típico olor que recuerda a manzanas macadas y jerez y que se puede combinar con el anhídrido sulfuroso, estos aldehídos superiores apenas reaccionan con el SO₂. Por tanto, su formación no se puede prevenir eficazmente embotellando con niveles más altos de SO₂ libre. Las reacciones que conducen a su formación son en gran parte irreversibles. Se controlan mediante el aporte de oxígeno y se ven aceleradas significativamente con la conservación en botella a alta temperatura.

Los tapones de rosca contrarrestan el envejecimiento oxidativo porque protegen el vino embotellado relativamente bien, o incluso herméticamente, frente a la absorción del oxígeno atmosférico. Ésta es una de las razones de su aceptación casi universal en algunos países. Por otro lado, la suposición de que los tapones de rosca bien cerrados protegen el vino de cualquier tipo de envejecimiento adverso es errónea.

Tapones de rosca como respuesta al envejecimiento oxidativo

En los vinos blancos sensibles al oxígeno, las diferencias de absorción de oxígeno de más de 5 mg/L O₂ pueden apreciarse a nivel sensorial. Esto llevó a la idea inicial de que el tapón ideal para estos vinos debía sellar herméticamente y evitar completamente la entrada de oxígeno con el fin de preservar los aromas frutales primarios durante el mayor tiempo posible. Dado que los tapones de rosca cumplen este requisito mejor que la mayoría de los otros cierres, en principio no hubo nada en contra de su introducción generalizada. Sobre todo, cuando, pocos meses después del embotellado, el oxígeno disuelto en el vino y el atrapado en el espacio de cabeza de la botella se encuentra en su totalidad combinado y consumido por el vino, el tapón se hace con el control de la crianza oxidativa. A medida que aumenta el tiempo de conservación en botella, la influencia del cierre de la botella se vuelve cada vez más evidente.

Importancia del disco de sellado del tapón de rosca

Contrariamente a la creencia popular, los tapones de rosca no son un tipo uniforme de cierre, sino que se diferencian entre sí por los diferentes sistemas de sellado que se caracterizan por presentar diferentes efectos de barrera al oxígeno.

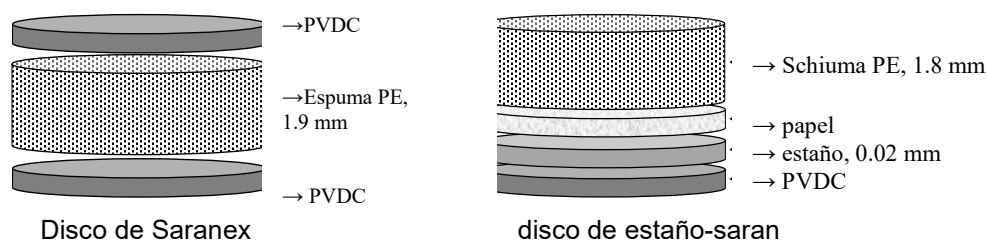
Todos los tapones de rosca están constituidos por un cilindro de aluminio externo y un disco de sellado que puede presentar una o varias capas. El cilindro exterior fija el disco en la posición correcta y lo presiona a lo largo del borde de la botella con la presión requerida. El disco de sellado asegura el cierre entre el producto y el tapón, sigila la botella y evita la difusión de gases y líquidos. Determina la estanqueidad y la calidad funcional del tapón de rosca. La estanqueidad con respecto al oxígeno atmosférico viene dada por la "tasa de transmisión de oxígeno" (OTR) en µg O₂/día o mg O₂/año.

Gracias a sus características específicas, los discos de sellado representan el elemento principal de los tapones de rosca que determina sus características funcionales. En otras palabras: los tapones rosca serán buenos si lo son sus discos de sellado. Estos últimos son producidos por empresas especializadas. La multitud de fabricantes de tapones de rosca trabajan con un reducido número de empresas proveedoras de discos de sellado.

Inicialmente, el disco de sellado consistía en simples elastómeros como PVC o PE, que se inyectaban en el cilindro de aluminio. En el sector del vino, dichos insertos se encuentran principalmente en tapones de rosca MCA con faldón corto o roll-on pilfer proof, que se utilizan preferentemente en el segmento de vinos baratos y de entraba de gama. La OTR para el PVC inyectado es de 1,4 mg O₂/año (Müller y Weisser 2002).

Las variantes de faldón alto (60 x 30 mm) como "Stellvin" o "Longcap", que requieren un acabado de cuello de botella BVS, actualmente se consideran las mejores. En lugar de elastómeros inyectados, en estos tapones se utilizan principalmente discos multicapa. Se conocen dos variantes principales de estos discos (Figura 1):

Figura 1: Estructura de los discos más frecuentemente usados en los tapones de rosca.



- El disco de Saranex™ consiste en una capa de espuma de PE de 2 mm de espesor recubierta por ambos lados con una capa de PVDC (cloruro de polivinilideno). La estructura simétrica de este revestimiento se puede describir como "PVDC-PE-PVDC". Su OTR es de 1,0 a 1,5 mg O₂/año con cierta dependencia de la temperatura (Vidal et al. 2011).
- El disco estaño-saran tiene un diseño asimétrico, con un extremo de la capa de PE en contacto directo con la tapa del cilindro de aluminio. En su versión tradicional, sobre el papel se aplica una fina hoja de estaño de 0,02 mm de espesor hacia el fondo del disco, así como una capa de PVDC que entra en contacto con el vino. La hoja de estaño proporciona una barrera adicional frente a los gases. Por lo tanto, el OTR de este disco es de 0,0 mg O₂/año (Vidal et al. 2011), representando una barrera absoluta frente al oxígeno. Con el objetivo de diversificar la gama, se han desarrollado modelos que se desvían de esta estructura estándar, en los que se omite el papel o se sustituye el estaño por aluminio.

Se puede resumir que los tapones de rosca tradicionales se caracterizan por un OTR bajo de solo 0,0 - 1,5 mg O₂/año y, por lo tanto, por un efecto de barrera al oxígeno de alto a absoluto. Los valores exactos dependerán del sistema de cierre utilizado. Para poder clasificarlos, es útil compararlos con los datos OTR de otros tapones.

Por ejemplo, los tapones técnicos tienen un OTR de alrededor de 1,0 mg O₂/año, que es muy parecido al de los tapones de rosca. Los tapones sintéticos, por otro lado, son conocidas por

su OTR a veces especialmente alto, de hasta 20 mg O₂/año, pero se observa una mejora constante y diferencias en función del fabricante y del proceso de producción. El OTR de los tapones naturales también varía dentro de un amplio intervalo que va desde 0,5 hasta 23 mg O₂/año, observándose grandes fluctuaciones entre los lotes y entre los tapones dentro de un mismo lote (Godden et al.2005, Lopes et al.2006, Karbowski et al.2010).

Envejecimiento reductor

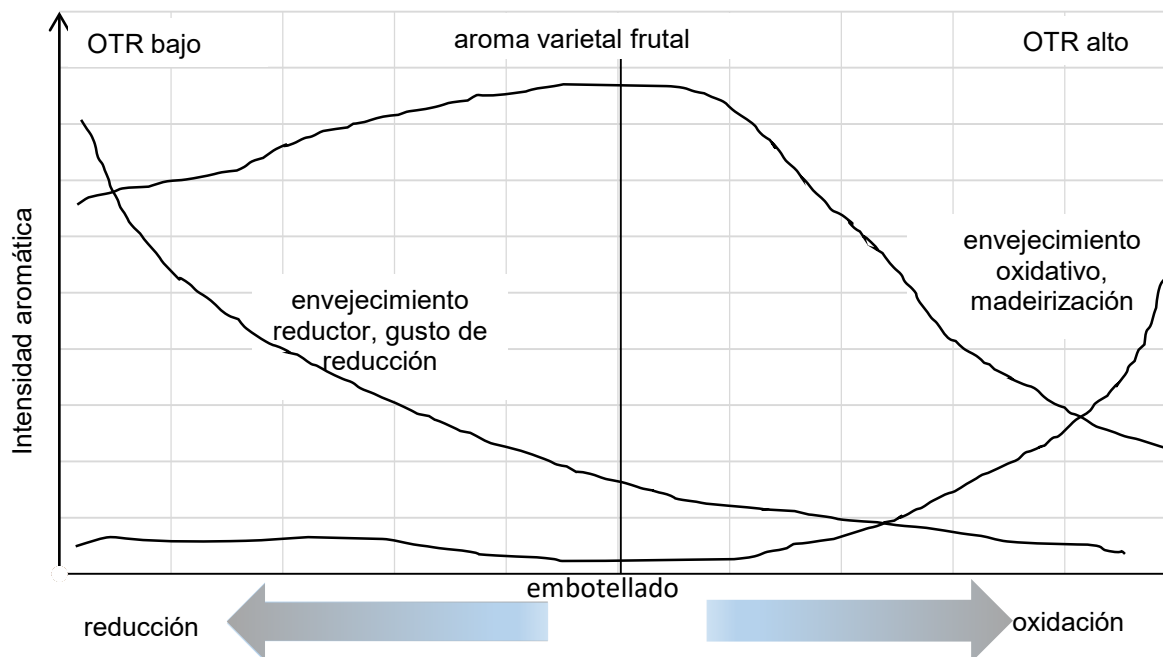
En el cambio de milenio, cuando se introdujo el tapón de rosca con revestimiento de estaño-sarán que proporcionaba un sellado hermético, las industrias vinícolas de Australia y Nueva Zelanda desempeñaron un papel pionero. Uno de sus motivos fue la búsqueda de una mejor conservación del aroma afrutado varietal de los vinos blancos mediante la absoluta exclusión del oxígeno. Con un cierto retraso, la industria del vino en varios países europeos adoptó también esta lógica.

La euforia australiana inicial rápidamente dio paso a una mayor reflexión cuando se demostró una mayor tendencia de los vinos a desarrollar aromas descritos como reductores o azufrados en condiciones de exclusión absoluta del aire, como la producida por los tapones de rosca revestidos de estaño y sarán (Skouroumounis et al.2005). Los datos sensoriales fueron confirmados por los datos analíticos. Los lotes cerrados herméticamente con estaño-sarán presentaban niveles más altos de sulfuro de hidrógeno (H₂S), metanotiol (metil mercaptano), SO₂ y tioles aromáticos de Sauvignon Blanc respecto a los controles embotellados con tapones menos herméticos (Ugliano et al.2009, 2011, 2013, 2015, Scrimgeour y Wilkes 2014). Los niveles elevados de metanotiol y H₂S, dos compuestos azufrados volátiles (VSC) relacionados con los defectos de reducción, se habían asociado previamente a una falta de oxígeno en cilindros sellados herméticamente (Limmer 2005). Se forman en condiciones muy reductoras por rutas puramente químicas a partir de precursores menos activos a nivel olfativo. Estos incluyen sus formas combinadas con iones de metales pesados, disulfuros, tioacetatos y aminoácidos azufrados (Ferreira et al.2018, Kreitman et al.2018).

La formación abiótica de VSC malolientes y los consiguientes off-flavor (goma quemada, huevos podridos, repollo hervido, ajo, etc.) se denomina envejecimiento reductor. Este término es aún poco conocido en muchos países. El envejecimiento reductor es lo contrario del envejecimiento oxidativo producido por la presencia de aldehídos superiores y por los atributos aromáticos resultantes (hierbas secas, miel, verduras cocidas, etc.).

El aporte de oxígeno debido al sistema de cierre elegido determinará si la crianza del vino es más oxidativa o más reductora. En la Figura 2 se ilustra esta relación de equilibrio. En comparación con el revestimiento de estaño-sarán, el aumento de la OTR de 0 a 1,5 mg de O₂/año con el uso de un revestimiento Saranex dio lugar a un menor índice de reducción tras dos años de conservación en botella, pero al mismo tiempo a un aumento de los atributos aromáticos típicos del envejecimiento oxidativo (Lopes et al. 2009).

Figura 2: Influencia del tasa de transmisión de oxígeno (OTR) del tapón sobre el envejecimiento del vino blanco después del embotellado (adaptado de Ugliano et al. 2009).



Estos resultados subrayan la importancia del disco de sellado del tapón de rosca y de su OTR. Además, cuestionan la conveniencia de la barrera total frente al oxígeno proporcionada por el revestimiento de estaño-sarón, que es la preferida en muchos países. En cualquier caso, plantean al enólogo el dilema de tener que elegir entre envejecimiento oxidativo y envejecimiento reductor, cuando en las condiciones reales de elaboración del vino, apenas puede predecir el desarrollo de cada vino.

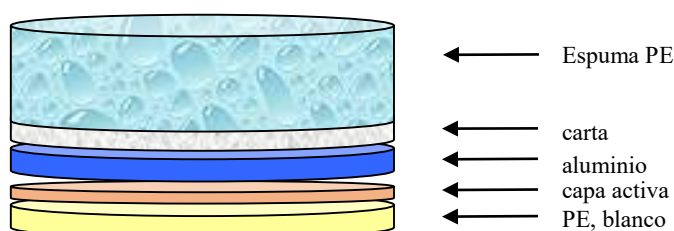
Las notas de reducción, que suelen aparecer unos meses después del embotellado, se conocen como aromas reductivos post-embotellado. Han experimentado un aumento significativo en muchos países tras la introducción del tapón de rosca. A diferencia de los países del Nuevo Mundo, donde este problema se ha abordado y tratado, estos aromas de reducción a menudo se pasan por alto o se consideran características minerales en las regiones vinícolas más tradicionales. En otros casos, se intenta evitarlos añadiendo preventivamente sulfato de cobre antes del embotellado. Sin embargo, este procedimiento es criticado por razones éticas, toxicológicas, químicas o emocionales.

Concepto de disco de sellado funcional para prevenir el envejecimiento reductor

Por las razones antes mencionadas, muchos enólogos no utilizan una dosis preventiva de cobre antes del embotellado con el fin de evitar la aparición de notas de reducción tras el embotellado. Por este motivo, se han dedicado muchos esfuerzos en buscar soluciones que permitan tener cobre disponible en el vino en forma inmovilizada, de modo que no entre en contacto con él ni se acumule. Una solución técnica consiste en inmovilizar el cobre sobre un soporte y mantenerlo cubierto con una membrana polimérica permeable. Los tioles y el H₂S responsables de los aromas reductores se difunden desde el vino a través de la membrana hasta el cobre inmovilizado y se unen a él de forma irreversible.

Este concepto se ha trasladado al revestimiento de los tapones de rosca. Su estructura se basa en la del disco de estaño-sarán convencional, sustituyendo el papel de estaño por papel de aluminio. El preparado a base de cobre inmovilizado se encuentra detrás de la última capa de PE aplicada hacia el lado del vino. La permeabilidad de esta capa permite la migración de las moléculas que provocan el gusto de reducción en el vino hacia el cobre, pero no la migración del cobre al vino. Al mismo tiempo, se garantiza el efecto de barrera absoluta frente al oxígeno ofrecida por el revestimiento de estaño-sarán. El objetivo es preservar el aroma afrutado mediante la exclusión total del oxígeno y, al mismo tiempo, reducir las moléculas responsables de las notas de reducción tras el embotellado. La figura 3 muestra la estructura de este revestimiento funcional capaz de absorber VSC.

Figura 3: Estructura de un disco para tapones de rosca que absorbe los VSC

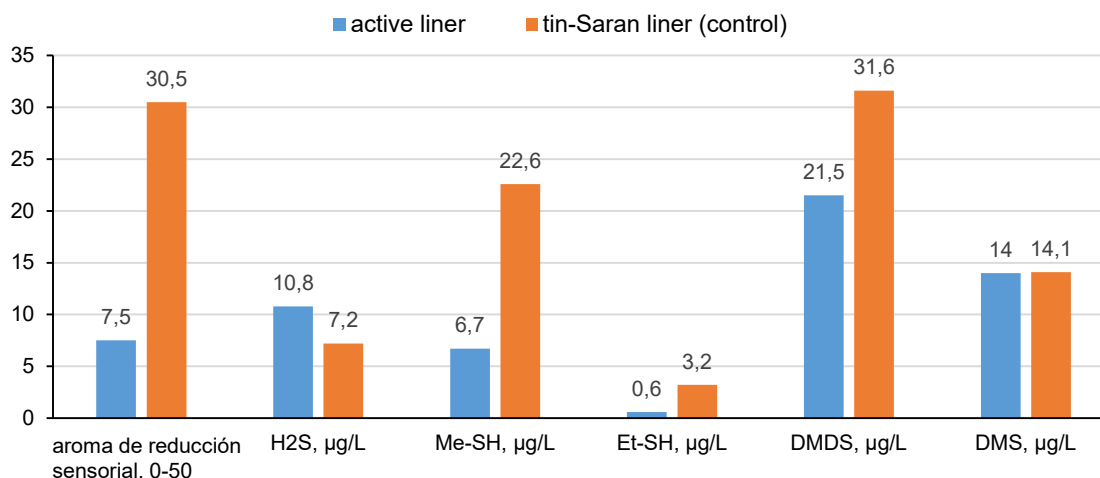


Puede encontrar más información sobre ALKOvin™ active [aquí](#)

Efecto sobre los tioles

En un primer ensayo, se estudió el efecto de este revestimiento en un vino blanco (SO_2 libre= 40 mg/L, Cu^{++} <0,1 mg / L), que fue embotellado con un gusto de reducción claramente perceptible, tapado tras la inertización del espacio de cabeza con nitrógeno y conservado en posición vertical. El revestimiento tradicional de estaño-sarán sirvió como control. La Figura 4 muestra que el gusto de reducción perceptible a nivel sensorial desapareció tras ocho meses de conservación con el revestimiento funcional. La percepción sensorial concuerda con el comportamiento de tioles como el metanotiol y el etanotiol implicados en los defectos de reducción tras el embotellado, cuyo contenido se redujo a una mínima fracción con el uso del disco activo. La reducción al mismo tiempo del contenido de disulfuro de dimetilo muestra que el efecto de este revestimiento activo también afecta indirectamente a los disulfuros.

Figura 4: Evolución del contenido de VSC y del gusto de reducción sensorialmente perceptible en un vino con defecto (Chardonnay) tras 8 meses de conservación en botella (en posición vertical, en la oscuridad, a 20° C) tras el cierre con con tapones de rosca



H₂S = sulfuro de hidrógeno, Me-SH = metanotiol, Et-SH = etanotiol, DMDS = dimetil disulfuro, DMS = dimetil sulfuro.

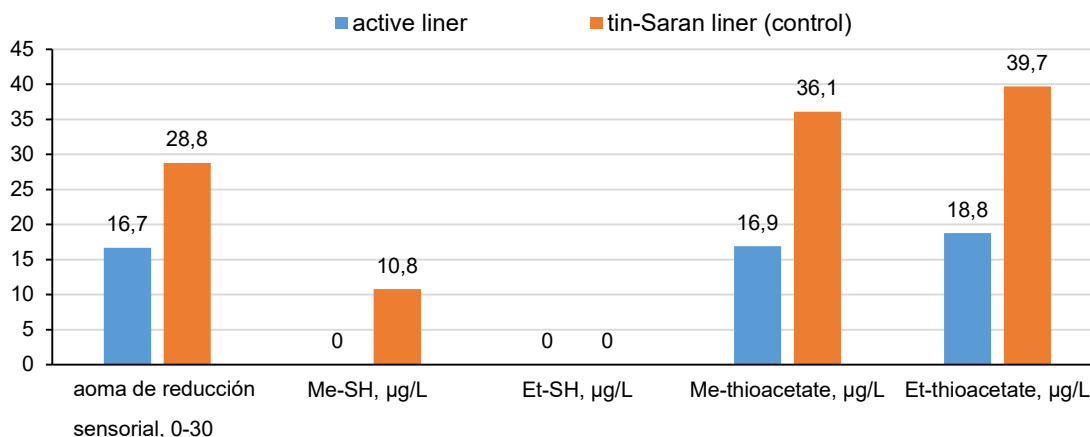
Efecto sobre los precursores de los aromas anómalos a reducción

Los disulfuros y tioacetatos son precursores esenciales de los VSC malolientes y del consiguiente aroma de reducción que aparece tras el embotellado. Para que este concepto innovador realmente funcione, este tipo de revestimiento funcional también debe poder eliminar los VSC a medida que se van formando en la botella a partir de sus precursores. Por consiguiente, en ensayos sucesivos, los vinos se enriquecieron con estos precursores, se embotellaron en condiciones inertes, se taparon con tapones de rosca provistos de los respectivos revestimientos y se conservaron en posición vertical.

La Figura 5 muestra los resultados en relación a los tioacetatos. Tras ocho meses de conservación, su contenido en las botellas tapadas con el revestimiento activo era solo el 47% del contenido de las botellas con el revestimiento de estaño-sarán. Sin embargo, los tioacetatos no pueden reaccionar directamente con el cobre. Su menor presencia se explica por un cambio en el equilibrio dinámico entre ellos y los correspondientes tioles durante la conservación. Los tioles resultantes son, a continuación, adsorbidos por el revestimiento activo. Esta adsorción de tioles acelera la disminución de la concentración de tioacetatos y finalmente conduce a su reducción efectiva. Por otro lado, con el disco de estaño-sarán, los tioles formados se acumulan y los tioacetatos permanecen a una concentración superior, lo que da como resultado una intensidad del gusto de reducción dos veces mayor, perceptible a nivel sensorial.

Figura 5: Evolución del contenido de los VSC y del gusto de reducción sensorialmente perceptible tras 8 meses de conservación en botella (en posición vertical, en la oscuridad, a 20° C) tras el cierre con tapones de rosca dotados de revestimientos difere

Al vino se añadieron 50 µg/L de tioacetato de metilo y 50 µg/L de tioacetato de etilo antes del embotellado.

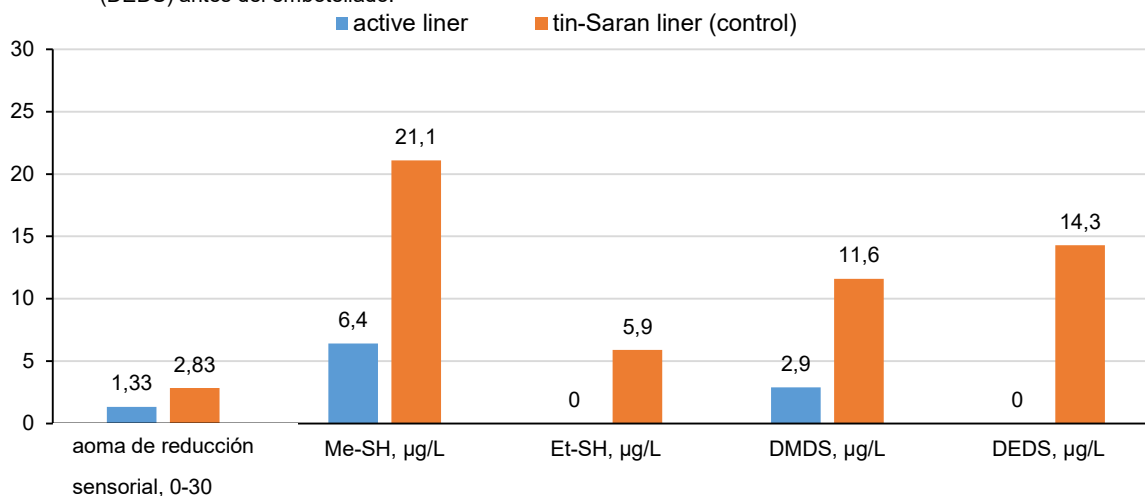


E

Se llevaron a cabo experimentos similares después de contaminar un vino con disulfuros. La Figura 6 muestra los resultados después de ocho meses de conservación de las botellas en condiciones de exclusión de oxígeno. En comparación con el revestimiento de estaño-sarán, el revestimiento funcional dio como resultado una disminución del 75% del disulfuro de dimetilo y una disminución del 100% del disulfuro de dietilo. Al mismo tiempo, el metanotiol se acumuló debajo del disco de estaño-sarán, algo que no ocurrió debajo del revestimiento activo, por lo que la intensidad del aroma de reducción perceptible a nivel sensorial se redujo casi a la mitad. Dado que los disulfuros no pueden reaccionar directamente con el cobre, se puede suponer que primero se reducen a tioles, que a continuación se unen al revestimiento activo.

Figura 6: Evolución del contenido de los VSC y del gusto de reducción sensorialmente perceptible tras 8 meses de conservación en botella (en posición vertical, en la oscuridad, a 20° C) tras el cierre con tapones de rosca dotados de revestimientos difere

Al vino se añadieron 33 µg/L de disulfuro de dimetilo (DMDS) y 33 µg/L de disulfuro de dietilo (DEDS) antes del embotellado.



Efecto sobre los tioles aromáticos

La influencia del revestimiento funcional sobre los tioles aromáticos fue de particular interés. Se trata de sustancias aromáticas que contienen azufre y provocan un olor que recuerda a maracuyá, guayaba, pomelo y grosella negra. Son sensibles al cobre y al oxígeno de manera similar a los tioles responsables de los olores anómalos a reducción. Están presentes en concentraciones sensorialmente significativas en los vinos Sauvignon blanc y en otras variedades de uva.

La Tabla 1 muestra los resultados en un Sauvignon blanc después de 12 meses de conservación en botella en comparación con el revestimiento de estaño-sarán. El porcentaje de pérdida de tioles aromáticos fue apenas medible y no significativo. Fue desproporcionalmente inferior al de los compuestos responsables de los sabores anómalos de reducción. Al parecer, la capa de PE del nuevo disco que separa la capa activa del vino actúa como una especie de filtro molecular. Permite que los tioles de bajo peso molecular, metanotiol y etanotiol, que causan los defectos de reducción, pasen más fácilmente que los tioles aromáticos de mayor peso molecular.

Tabla 1: Efecto del disco activo sobre el contenido ($\mu\text{g/L}$) de tioles aromáticos en Sauvignon blanc después de 12 meses de conservación en botella.

	Disco activo	Disco estaño-Sarán (control)	Diferencia respecto al disco de estaño-Sarán
4-mercapto-4-metilpentan-2-ona	1,53	1,52	+ 0,7 %
3-mercaptohexan-1-ol	1018	1042	- 2,3 %
3-mercaptohexil acetato	3,37	5,4	- 17,9 %
bencil mercaptano	2,27	3,18	- 28,6 %

Resultados a escala industrial

En una prueba comparativa a gran escala de 21 vinos de Australia y Nueva Zelanda (Schneider et al.2017), el disco funcional mostró un OTR apenas medible de casi 0,0 mg O₂/año, que es comparable al del disco tradicional de estaño-sarán. Como resultado, las pérdidas de SO₂ durante la conservación también fueron comparativamente bajas.

Durante un período de 24 meses, no se observó ningún aumento en el contenido de cobre en las botellas tapadas con el revestimiento funcional y conservadas tumbadas. Los datos de OTR y cobre obtenidos demuestran que los VSC sensoriales percibidos como aromas anómalos de reducción disminuyeron exclusivamente por su combinación irreversible al cobre inmovilizado en el nuevo disco. La suma de los resultados obtenidos indica que, a pesar de las condiciones de conservación con tapón de rosca hermético, el envejecimiento reductor provocado por la formación de tioles malolientes puede reducirse significativamente sin necesidad de enriquecer el vino en cobre. Al mismo tiempo, la exclusión del oxígeno permite que estos tapones de rosca puedan prevenir por completo el envejecimiento oxidativo. En

estas condiciones, el envejecimiento oxidativo y el envejecimiento reductor, como problemas opuestos, pierden su significado.

Los vinos que no tiene la tendencia a desarrollar aromas de reducción tras el embotellado, se comportan de la misma manera con el disco funcional que con el disco de estaño-sarán. En estos casos, hay una disminución de los niveles de metanotiol de solo un 27% en promedio, lo que evita cualquier diferenciación sensorial.

El disco funcional frente al envejecimiento reductor ya está disponible en el mercado bajo la marca ALKOvin active®.

Resumen

Los tapones de rosca se distinguen por el efecto de barrera frente al oxígeno proporcionado por el disco de sellado. Un exceso de oxígeno favorece el envejecimiento oxidativo, la falta de oxígeno favorece el envejecimiento reductor. El envejecimiento reductor cuando se usan tapones herméticos se debe a la formación de niveles elevados de compuestos azufrados volátiles, en particular tioles y H₂S, cuyo olor produce el defecto de reducción. Por diversas razones, su prevención mediante la adición de sales de cobre antes del embotellado no es bien aceptada. Como alternativa, se ha desarrollado un revestimiento funcional para tapones de rosca, que combina los tioles responsables de la aparición de los aromas de reducción tras el embotellado y al mismo tiempo protege los aromas frutales varietales frente al envejecimiento oxidativo gracias a su óptimo efecto de barrera al oxígeno.

Referencias

- Escudero A., Asensio E., Cacho J., Ferreira V., 2002. Sensory and chemical changes of young white wines stored under oxygen. An assessment of the role played by aldehydes and some other important odorants. *Food Chem.* 77: 325-331.
- Ferreira A. C. S., Hogg T., Guedes de Pinho P., 2003. Identification of key odorants related to the typical aroma of oxidation-spoiled white wines. *J. Agric. Food Chem.* 51 (5): 1377-1381.
- Ferreira V., Franco-Luesma E., Vela E. López R., Hernández-Orte P., 2018. Elusive chemistry of hydrogen sulfide and mercaptans in wine. *J. Agric. Food Chem.* 66 (19): 2237-2246.
- Godden P. et al., 2005. Towards offering wine to the consumer in optimal conditions – the wine, the closures and other packaging variables. *Wine Industry Journal* 20: 20-30.
- Karbowiak T. et al., 2010. Wine oxidation and the role of cork. *Crit. Rev. Food Sci. Nutr.* 50 (1): 20-52.
- Kreitman G.Y., Elias R.J., Jeffery D.W., Sacks G.L., 2018. Loss and formation of malodorous volatile sulfhydryl compounds during wine storage. *Crit. Rev. Food Sci. Nutr.* 5: 1-24.
- Limmer A., 2005. The chemistry and possible ways of mitigation of post-bottling sulfides. *New Zealand Wine* 01: 34-37.
- Lopes P., Saucier C., Teissedre P.-L., Glories Y., 2006. Impact of storage position on oxygen ingress through different closures into wine bottles. *J. Agric. Food Chem.* 54 (18): 6741-6746.
- Lopes P. et al., 2009. Impact of oxygen dissolved at bottling and transmitted through closures on the composition and sensory properties of a Sauvignon blanc wine during bottle storage. *J. Agric. Food Chem.* 57 (21): 10261-10270.
- Müller K., Weisser H., 2002. Gasdurchlässigkeit von Flaschenverschlüssen. *Brauwelt* 142: 617-619.
- Pons A., Nikolantonaki M., Lavigne V., Shinoda K., Dubourdieu D., Darriet P., 2015. New insights into intrinsic and extrinsic factors triggering premature aging in white wines. *In: Advances in Wine Research, Am. Chem. Soc. Symposium Series*, 1203: 229-251.

Schneider V., Schmitt M., Kröger R., 2017. Wine screw cap closures: The next generation. *Grapegrower & Winemaker* 638: 50-52.

Scrimgeour N., Wilkes E., 2014. Closure trials show volatile sulfur compounds formation can still cause a stink. *Australian & New Zealand Grapegrower & Winemaker* 602: 62-67.

Skouroumounis G. K. et al., 2005. The impact of closure type and storage conditions on the composition, colour and flavour properties of a Riesling and a wooded Chardonnay wine during five years' storage. *Aust. J. Grape Wine Res.* 11 (3): 369-377.

Ugliano M., Kwiatkowski M. J., Travis B., Francis I. L., Waters E. J., Herderich M. J., Pretorius I. S., 2009. Post-bottling management of oxygen to reduce off-flavour formation and optimise wine style. *The Wine Industry Journal* 24: 24-28.

Ugliano M., Kwiatkowski M., Vidal S., Capone D., Siebert T., Dieval J.-B., Aagaard O., Waters E. J., 2011. Evolution of 3-mercaptohexanol, hydrogen sulfide, and methyl mercaptan during bottle storage of Sauvignon blanc wines. Effect of glutathione, copper, oxygen exposure, and closure-derived oxygen. *J. Agric. Food Chem.* 59 (6): 2564-2572.

Ugliano M., 2013. Oxygen contribution to wine aroma evolution during bottle aging. *J. Agric. Food Chem.* 61 (26): 6125-6136.

Ugliano M., Bégrand S., Diéval J.-B., Vidal S., 2015. Critical oxygen levels affecting wine aroma: Relevant sensory attributes, related aroma compounds, and possible mechanisms. *Am. Chem. Soc. Symposium Series* 1203: 205-216.

Vidal J.-C., Guillemat B., Chayvialle C., 2011. Oxygen transmission rate of screwcaps by chemoluminescence and air/capsule/headspace/acidified water system. *Bull. de l'OIV* 84: 189-198.