

El cobre en la vinificación: de la gestión del viñedo al control analítico en bodega

Dra. Francesca Bruni, investigadora del Laboratorio Químico "Francesco Bonicolini" del CDR

P2611

Introducción: El cobre como punto crítico de control en el proceso de elaboración del vino

En la vinificación moderna, la presencia de cobre (Cu) debe considerarse no sólo como un residuo histórico de los tratamientos del viñedo, sino también como un punto crítico de control dentro del protocolo de garantía de calidad de la bodega. Los productos a base de cobre siguen siendo una de las soluciones más eficaces para **controlar el mildiú veloso**. (*Plasmopara viticola*). Al mismo tiempo, su persistencia puede afectar la estabilidad química y microbiológica del vino. El cobre es un **micronutriente esencial** para el metabolismo de la vid. Sin embargo, cuando un exceso de residuos llega al mosto y al vino, este metal se convierte en un parámetro tecnológicamente crítico capaz de influir en la cinética de la fermentación, la estabilidad oxidativa y el perfil sensorial final. Tradicionalmente, los tratamientos en viñedos seguían la llamada "**regla de las tres decenas**". Diez milímetros de lluvia, diez centímetros de crecimiento de los brotes y temperaturas cercanas a los 10 °C se consideraban condiciones favorables para la infección. Los conocimientos agronómicos actuales han revisado esta regla. Las investigaciones demuestran que la infección puede comenzar cuando las hojas tienen tan solo 2-3 cm de diámetro, porque los estomas ya están completamente funcionales. Por consiguiente, los tratamientos suelen comenzar antes y pueden repetirse con mayor frecuencia a lo largo de la temporada. Esto aumenta la probabilidad de que los residuos de cobre permanezcan en las uvas y entren en el mosto. Los límites reglamentarios establecen **concentraciones máximas de cobre de 50 mg/kg** en la uva y **1 mg/L** en el vino terminado. Sin embargo, desde un punto de vista tecnológico, muchas bodegas consideran que **0,5 mg/L** es la concentración umbral óptima. Óptimo para garantizar la estabilidad y evitar defectos de calidad. Mantener el cobre por debajo de este valor reduce significativamente el riesgo de reacciones oxidativas e inestabilidad coloidal.

Toxicidad del cobre y metabolismo de la levadura

Una vez que el cobre entra en la bodega, su eliminación se dificulta. Los procesos estándar de clarificación del mosto generalmente no reducen significativamente la concentración de cobre. La

mayor parte del metal permanece biodisponible y puede interactuar directamente con el metabolismo de la levadura. La respuesta de la levadura al cobre depende de la cepa de levadura utilizada durante la fermentación.

Los niveles de resistencia típicos son aproximadamente:

- Levaduras autóctonas o no seleccionadas: tolerancia hasta 8 mg/L
- Cepas tradicionales de *Saccharomyces cerevisiae* : tolerancia hasta 12 mg/L
- *S. cerevisiae* / *bayanus* : tolerancia hasta 19 mg/L
- Cepas no productoras de H₂S: mayor sensibilidad, aproximadamente 6 mg/L

Debido a estas diferencias, la concentración de cobre debe evaluarse junto con la cepa de levadura específica utilizada para controlar la fermentación.

Mecanismos del estrés oxidativo

La toxicidad del cobre se asocia principalmente con la forma iónica Cu²⁺, que puede participar en reacciones redox que generan especies reactivas de oxígeno (ERO). Estas moléculas reactivas dañan las estructuras celulares e interfieren con los sistemas enzimáticos clave involucrados en la fermentación. Las principales consecuencias incluyen:

1. **El estrés oxidativo y la cinética de fermentación más lenta**
Los ROS dañan las membranas celulares e inhiben las enzimas involucradas en la glucólisis, lo que ralentiza la actividad de la levadura.
2. **Aumento de la producción de acetaldehído**
Las células de levadura sometidas a estrés oxidativo tienden a acumular acetaldehído como metabolito intermedio.
3. **Impacto en la gestión del dióxido de azufre.**
El acetaldehído es el principal compuesto que fija el dióxido de azufre (SO₂). Por lo tanto, concentraciones más altas de acetaldehído requieren mayores adiciones de SO₂ para mantener una fracción adecuada de SO₂ libre, lo que aumenta el riesgo de superar los límites legales de SO₂ total.

Riesgos organolépticos: oxidación e inestabilidad coloidal

El cobre también es un potente catalizador redox en el vino. Su presencia acelera el consumo de oxígeno, incrementando las reacciones oxidativas entre un

125 y un 190 % aproximadamente. Estas reacciones pueden afectar significativamente tanto la estabilidad del aroma como la evolución del color. Los vinos blancos son particularmente sensibles debido a la falta del regulador redox polifenólico que se encuentra típicamente en los vinos tintos.

La paradoja del cobre

En vinos embotellados con bajo potencial redox, los iones Cu^+ Pueden reaccionar con proteínas y grupos sulfhidrilo, formando complejos coloidales inestables que eventualmente pueden precipitar como depósitos de color marrón rojizo, un fenómeno conocido como **casos de cobre**.

Los vinos más expuestos a esta inestabilidad son aquellos que han acumulado cobre durante los tratamientos del viñedo o las operaciones de bodega. **Los vinos blancos ligeros son particularmente vulnerables**, ya que suelen embotellarse pronto y tienen poco tiempo para estabilizarse durante el almacenamiento en grandes cantidades.

El óxido de cobre suele formarse después del embotellado, cuando el ambiente del vino se vuelve más reductor debido a los bajos niveles de oxígeno y la presencia de compuestos como **el dióxido de azufre y el ácido ascórbico**. Estas condiciones favorecen la formación de complejos de cobre insolubles que pueden precipitar durante el almacenamiento en botella.

Los factores externos pueden aumentar el riesgo. La exposición **a la luz**, en particular a los rayos UV, puede favorecer este fenómeno, por lo que los vinos blancos embotellados en vidrio transparente son más susceptibles (Zoecklein et al., 1995). **Las altas temperaturas de almacenamiento** también pueden acelerar la aparición de depósitos de cobre en presencia de otras condiciones inestables. Las proteínas pueden participar en la formación de complejos de cobre, lo que hace que los vinos con mayor contenido proteico sean más susceptibles. En estos casos, **una clarificación cuidadosa con bentonita** puede ayudar a reducir los niveles de proteína y limitar el riesgo de turbidez o sedimentos.

Por esta razón, la **Monitoreo preventivo de la concentración de cobre** Es más eficaz que tratamientos correctivos como el ferrocianuro de potasio o los copolímeros PVI-PVP, que pueden afectar el perfil sensorial del vino. Mantener los niveles de cobre por debajo de **0,5 mg/L** sigue siendo la estrategia más fiable para preservar la estabilidad coloidal y la calidad visual del vino durante toda su vida útil.

Monitoreo de cobre con CDR WineLab®

Una comprobación analítica rápida es esencial para la gestión de **niveles de cobre** Durante las operaciones de vinificación, las mediciones oportunas permiten a los productores evaluar el impacto de los tratamientos del viñedo, monitorear los procesos de clarificación y verificar las concentraciones de cobre antes de etapas críticas como la fermentación, la estabilización o el embotellado. El **sistema CDR WineLab®** permite a las bodegas realizar análisis de cobre directamente en la bodega, proporcionando resultados rápidos que respaldan las decisiones de control de calidad en tiempo real sin la necesidad de laboratorios externos y los retrasos asociados. El método analítico cubre los rangos de concentración que se encuentran típicamente tanto en el mosto como en el vino terminado, lo que permite un monitoreo efectivo durante todo el proceso de producción. Hay dos rangos de medición disponibles: un **rango bajo de 0,05 a 0,70 ppm**, con una resolución de **0,01 ppm**, y un **rango alto de 0,60 a 1,20 ppm**, también con una resolución de **0,01 ppm**. Este rango dual permite la detección precisa de concentraciones de cobre cercanas al umbral tecnológico asociado con la estabilidad del vino. Para garantizar mediciones fotométricas confiables, se recomiendan pasos simples de preparación de la muestra. Las muestras de mosto deben centrifugarse antes del análisis para eliminar los sólidos en suspensión que podrían interferir con la medición, mientras que los vinos espumosos o las muestras en fermentación deben desgasificarse, generalmente mediante un baño ultrasónico, para eliminar el dióxido de carbono disuelto que podría afectar las lecturas ópticas. Estos sencillos procedimientos de preparación ayudan a garantizar **un rendimiento analítico consistente y resultados fiables durante el control rutinario de la bodega**.

Análisis comparativo: método CDR vs. método oficial de la OIV

En la vinificación moderna es importante distinguir entre el seguimiento del proceso y el análisis de la certificación oficial.

Criterio	Método CDR WineLab®	Método oficial (OIV / Absorción atómica)
Propósito estratégico	Control de procesos y aseguramiento de la calidad	Certificación legal y cumplimiento de las exportaciones
Tiempo de respuesta	Aproximadamente 6 minutos	Desde varias horas hasta días
Complejidad operativa	Mínimo, utilizable directamente en la bodega.	Alto, requiere personal de laboratorio especializado
Preparación de muestras	Centrifugación rápida o desgasificación	Digestión ácida compleja
Precisión	Excelente linealidad en ambos rangos	Método de referencia legal
Costo de operación	Reactivos bajos, listos para usar, estables durante 6 meses.	Costos más elevados debido a análisis de laboratorio externos

Conclusión. El monitoreo del cobre como elemento clave del control de calidad en la bodega.

La gestión **del cobre** es un elemento clave para el control de calidad en las bodegas modernas.

Monitorear la concentración de cobre durante todo el proceso de vinificación ayuda a prevenir dificultades de fermentación, inestabilidad oxidativa y defectos sensoriales que pueden aparecer después del embotellado. Sistemas analíticos como **CDR WineLab®** permiten a las bodegas detectar variaciones de tan solo 0,01 ppm, lo que facilita una intervención oportuna tras tratamientos en el viñedo, procedimientos de flotación o prácticas correctivas en la bodega.

Si bien los métodos oficiales de la OIV siguen siendo esenciales para la certificación reglamentaria, **los análisis internos rápidos** brindan a los enólogos una herramienta poderosa para proteger **la integridad aromática**, **la eficiencia de la fermentación** y **la estabilidad del vino** a largo plazo.