

Índice de astringencia tribológico como parámetro de descube durante la vinificación de vinos tintos

Tribological astringency Index a parameter for adjusting maceration in red grapes winemaking

Natalia Brossard^{1,2}, Matías Chávez¹, Vladimir Olivares¹, Edmundo Bordeu¹

¹ Winetech SpA, Avenida Apoquindo, Las Condes 2930, Santiago, Chile.

² Department of Fruit Trees and Enology, Faculty of Agronomy and Natural Systems, Pontificia Universidad Católica de Chile, Avda. Vicuña Mackenna 4860, Santiago, 7820436, Chile. ndbrossa@uc.cl

Abstract. La astringencia es uno de los principales factores de calidad en vinos tintos. En base a este parámetro sensorial se toman decisiones relevantes en la producción de vino, incluido el momento de cosecha (madurez fenólica), tiempo e intensidad de maceración, tiempo y tipo de envejecimiento y el mercado objetivo de los vinos. Sin embargo, la astringencia en vinos es un atributo difícil de evaluar sensorialmente, ya que se produce por la interacción de los taninos del vino con las proteínas de la saliva, haciendo que se vaya perdiendo la lubricación oral entre cada evaluación. Esto se traduce en un aumento de la intensidad de la percepción en la medida que nos exponemos al estímulo y por consecuencia se produce una pérdida de objetividad entre las evaluaciones. En esta investigación se presenta un nuevo método físico para medir astringencia, que se basa en una medición tribológica que imita el deslizamiento de la lengua contra el paladar al igual que lo hace el enólogo al degustar. Se evaluó el índice de astringencia utilizando mezclas de vinos tintos con el reactivo "Winetech", en vinificaciones industriales de uvas Cabernet Sauvignon y Carmenere. Durante los días de maceración se produjeron cambios en el coeficiente de fricción, pudiendo evaluar *in-situ* y de forma objetiva las decisiones de maceración durante vinificación. Los resultados de este trabajo demuestran que este nuevo método físico para determinar astringencia puede ser una herramienta útil tanto para la toma de decisiones de calidad como para la optimización de procesos, convirtiéndose en pieza clave para el futuro de la automatización de bodegas y/o bodegas inteligentes.

Resumen. Astringency is one of the leading quality factors in red wines. Relevant decisions are made in wine production based on this sensory parameter, including the time of harvest (phenolic ripeness), time and intensity of maceration, time and type of aging, and the target market of the wines. However, astringency in wines is a complex attribute in sensory evaluation since it is produced by the interaction of the wine's tannins with saliva proteins, causing a decrease in oral lubrication between each assessment. This causes an increase in the intensity of perception as we are exposed to the stimulus and, consequently, a loss of objectivity between evaluations. This research presents a new physical method, based on a tribological method to measure astringency, that imitates the tongue sliding against the hard palate, just as the winemaker does when tasting. The astringency index was evaluated using red wine mixed with the "Winetech" reagent in industrial winemaking of Cabernet Sauvignon and Carmenere grapes. During maceration, changes in the coefficient of friction occurred, allowing *in-situ* and objective evaluation of maceration decisions during winemaking. The results of this work demonstrate that this new physical method for determining astringency can be a helpful tool for quality decision-making and process optimization, becoming a key element for the future of winery automation and/or smart wineries.

1. Introducción

La astringencia es una propiedad sensorial clave en vinos tintos, caracterizada por una sensación táctil de sequedad, y aspereza en la boca, producto de la interacción entre polifenoles, principalmente taninos, y proteínas salivales (Gawel, 1998; Peleg, 1999). Este atributo, si bien deseado en ciertos estilos de vino, debe ser cuidadosamente gestionado durante la vinificación, ya que un exceso de astringencia puede afectar negativamente la percepción de calidad y la aceptación del producto final (Fontoin et al., 2008). En este contexto, la evaluación sistemática de la astringencia a lo largo del proceso de vinificación se ha convertido en una herramienta esencial para los enólogos, permitiendo ajustar parámetros críticos como la duración de la maceración, la temperatura de fermentación y el manejo de la crianza (Kennedy, 2008).

No obstante, la evaluación sensorial de la astringencia durante la fermentación presenta múltiples desafíos, ya que el entorno de fermentación no reproduce las condiciones de consumo finales. Factores como la presencia de elevadas concentraciones de azúcares residuales, CO₂, etanol en formación y matrices interferentes afectan la percepción de la astringencia, tanto en intensidad como en calidad (Fontoin et al., 2008; Meillon et al., 2009). Por ejemplo, se ha documentado que los azúcares y el etanol contribuyen a enmascarar temporalmente la sensación de sequedad y aspereza mediante un aumento de la viscosidad y la percepción de dulzor, dificultando la evaluación precisa del potencial de astringencia que tendrá el vino una vez estabilizado (Gawel et al., 1998). Además, durante las fases iniciales de maceración, la abundancia de compuestos en suspensión, como levaduras, bacterias, pieles y semillas, puede generar percepciones táctiles confusas o superpuestas que interfieren con una apreciación nítida de la astringencia (Smith et al., 2015).

Por otro lado, la astringencia en vinos es un atributo difícil de evaluar sensorialmente, ya que se produce por la interacción de los taninos del vino con las proteínas de la saliva, haciendo que se vaya perdiendo la lubricación oral entre cada evaluación. Esto se traduce en un aumento de la intensidad de la percepción en la medida que nos exponemos al estímulo y por consecuencia se produce una pérdida de objetividad entre las evaluaciones.

De esta manera, existen limitaciones sensoriales inherentes al entorno de vinificación y propias de la degustación que exigen complementar la evaluación sensorial de astringencia con metodologías instrumentales objetivas. De tal manera de apoyar la toma de decisiones de los enólogos y permitir mayor consistencia en los vinos producidos (Vidal et al., 2004; Laguna et al., 2017; Brossard et al., 2021).

Como estrategia complementaria, se han utilizado métodos analíticos basados en la concentración de taninos. Sin embargo, los métodos analíticos convencionales son indirectos y no permiten una predicción de la astringencia sensorial (Wilhelmy et al., 2021). Siendo una limitación

importante, ya las tendencias de consumidores cada vez están más enfocadas a vinos tintos con astringencia más suave y cuerpo más intenso (Brossard et al., 2021).

En este contexto, la tribología oral emerge como una disciplina clave para comprender y evaluar la astringencia desde un enfoque mecánico y físico, considerando cómo los taninos modifican la lubricación de la boca al interactuar con la saliva y alterar las condiciones de fricción entre las superficies orales (Laguna et al., 2017). Estudios de Brossard et al. (2016, 2021) han demostrado que la presencia de taninos induce un aumento del coeficiente de fricción en condiciones que simulan el entorno oral, validando la correlación directa entre el aumento de fricción y la percepción de astringencia.

Basado en esto, esta investigación se presenta un nuevo método físico para medir astringencia, que se basa en una medición tribológica que imita el deslizamiento de la lengua contra el paladar al igual que lo hace el enólogo al degustar. Se evaluó *in-situ* el índice de astringencia durante la maceración fermentativa. Los resultados de este trabajo demuestran que este nuevo método físico para determinar astringencia puede ser una herramienta útil tanto para la toma de decisiones de calidad como para la optimización de procesos, convirtiéndose en pieza clave para el futuro de la automatización de bodegas y/o bodegas inteligentes.

2. Metodología

Los ensayos se realizaron en dos bodegas comerciales de la Viña San Pedro Tarapacá, Chile, durante la vendimia 2025. Las fermentaciones se llevaron a cabo en dos cultivares, Merlot (Valle del Maipo) y Cabernet Sauvignon (Valle del Maipo y Valle de Colchagua), seleccionadas por los enólogos de la empresa. Las fermentaciones se llevaron a cabo en cubas de acero inoxidable de 50.000 L, todas siguiendo el protocolo de vinificación como tinto tradicional; y siguiendo el criterio de momento de descube, como el momento en que la astringencia cambia a agresiva (por degustación).

Todos los muestreos fueron realizados por el mismo operador y evaluadas en laboratorio. A las muestras obtenidas se les determinó el contenido de Taninos (g/L eq. Epicatequina), polifenoles totales (DO 280), intensidad colorante (A420+A510+A620), y astringencia potencial por tribología.

La determinación de taninos se hizo por precipitación con metil celulosa de acuerdo al protocolo del AWRI y la determinación del índice de astringencia tribológica se realizó en un tribómetro MTM2 de PCS Instruments utilizando la solución proteica desarrollada por Winetech y empleando el protocolo de operación desarrollado por Winetech (en proceso de patentamiento). El análisis estadístico se realizó con el programa SAS (SAS Institute, versión 9.2). Se realizó un análisis de varianza (ANOVA) para evaluar el efecto de los días de maceración en la astringencia y se utilizó la comparación de medias de Tukey para determinar las diferencias significativas entre ellos. El nivel de significancia utilizado fue $p < 0,05$ a lo

largo del estudio. Todos los análisis se realizaron por triplicado.

3. Resultados y Discusión

La tabla 1 muestra la composición de polifenoles y astringencia de los vinos muestreados durante fermentación hasta descube. Específicamente en Merlot, aunque el contenido de taninos y polifenoles totales muestran tendencia creciente hasta el descube, el índice de astringencia tiene una progresión más marcada, reflejando que la percepción tribológica de astringencia puede incrementarse incluso en escenarios donde la concentración de taninos se estabiliza. Esto destaca la sensibilidad superior de la tribología para capturar el cambio cualitativo en la astringencia, posiblemente debido a cambios en la estructura o agregación de taninos, no detectables por DO280 o métodos de cuantificación general de taninos.

En Cabernet Sauvignon del Valle del Maipo existe una desincronización entre los polifenoles/taninos y la percepción tribológica. A pesar de que la concentración química sigue aumentando hacia el descube, el índice de astringencia disminuye hacia el final de la maceración. Esto podría explicarse por fenómenos de estabilización coloidal, coprecipitación o polimerización de taninos que modulan la fricción en boca. Este comportamiento evidencia la limitada capacidad de los métodos químicos convencionales para predecir astringencia, especialmente en Cabernet Sauvignon, donde la matriz es más rica en taninos reactivos y su evolución estructural impacta significativamente la percepción sensorial (Brossard et al., 2021).

Tabla 1. Análisis tribológico y de polifenoles en muestras de vino en fermentación

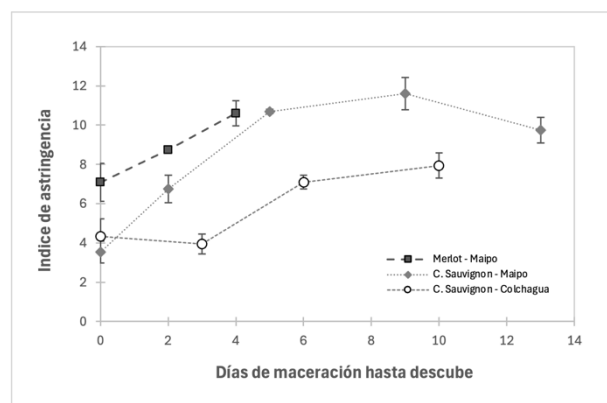
Días antes de descube	Índice astringencia	Polifenoles Totales (DO280)	Contenido de Taninos (g/l)	Intensidad Color
Merlot - Valle del Maipo				
4 días antes	7,1 ± 1,0 B	41 ± 2 B	0,61 ± 0,28 B	9,6 ± 0,3 C
2 días antes	8,7 ± 0,1 AB	56 ± 4 A	1,73 ± 0,07 A	12,3 ± 0,4 A
Descube	10,6 ± 0,6 A	60 ± 1 A	1,54 ± 0,16 A	10,6 ± 0,4 B
Cabernet Sauvignon - Valle del Maipo				
13 días antes	3,5 ± 0,5 C	22 ± 0 D	0,03 ± 0,06 C	2,5 ± 0,1 D
9 días antes	6,8 ± 0,7 B	63 ± 0 C	1,44 ± 0,07 B	16,0 ± 0,1 A
5 días antes	10,7 ± 0,1 A	70 ± 2 B	1,92 ± 0,27 A	15,6 ± 0,6 AB
2 días antes	11,6 ± 0,8 A	72 ± 0 AB	1,87 ± 0,11 AB	14,0 ± 0,4 C
Descube	9,7 ± 0,7 A	74 ± 2 A	2,05 ± 0,20 A	14,7 ± 0,3 BC
Cabernet Sauvignon - Valle de Colchagua				
10 días antes	4,3 ± 0,9 B	29 ± 2 B	0,35 ± 0,08 C	6,2 ± 0,6 B
6 días antes	3,9 ± 0,5 B	72 ± 7 A	2,12 ± 0,08 B	21,3 ± 1,3 A
3 días antes	7,1 ± 0,4 AB	73 ± 4 A	2,34 ± 0,18 AB	21,8 ± 1,3 A
Descube	7,9 ± 0,6 A	74 ± 6 A	2,43 ± 0,03 A	20,4 ± 1,1 A

*Promedios dentro de una columna con la misma letra no son estadísticamente diferentes según la prueba de HSD Tukey (P < 0,05).

En Cabernet Sauvignon del Valle de Colchagua, se observa una mejor correlación entre taninos, polifenoles totales e índice de astringencia. Sin embargo, la evolución del índice de astringencia es más moderada en relación al fuerte incremento químico de Taninos. La intensidad color se mantiene alta y estable, lo que indica una maceración eficiente en color.

En relación al tiempo de maceración es importante destacar que la concentración de azúcar de los vinos no afectaría los resultados de astringencia tribológica obtenidos, pudiendo detectar diferencias significative entre las muestras. Esto ultimo, en condiciones que los analisis sensoriales pueden verse afectados por el dulzor.

El efecto de los días de maceración sobre el indice de astringencia se muestra en el gráfico 1.



En el gráfico se puede observar que la evolución de la astringencia no es lineal en relación al tiempo de maceración, especialmente en Cabernet Sauvignon.

La tribología revela momentos críticos de cambio en la percepción de astringencia que no serían detectables por métodos clásicos, como el descenso de la percepción en Cabernet Sauvignon Maipo antes del descube, pese a que la extracción química sigue.

En terminus de la variedad y el origen, se observan patrones distintos de evolución de la astringencia pudiendo determinar perfiles de extracción.

4. Conclusión

La percepción de astringencia (índice tribológico) no sigue siempre de manera lineal el aumento de taninos o polifenoles totales, confirmando la limitación de los métodos químicos clásicos (DO280, contenido de taninos) para predecir astringencia percibida en boca durante la vinificación, especialmente en etapas avanzadas donde la estructura de taninos y la matriz son más complejas (Brossard et al., 202; González-Muñoz et al., 2022).

La tribología muestra mayor sensibilidad a la calidad sensorial de la astringencia, revelando fenómenos de saturación, modulación por polisacáridos, etanol o cambios coloidales, no detectados por análisis químicos.

El uso combinado de tribología y química ofrece una visión más completa. Siendo importante poner atención a la evolución no lineal de la astringencia en Cabernet Sauvignon, donde decisiones basadas solo en química podrían llevar a sobreextracciones indeseadas. Finalmente, la tribología aporta información valiosa en fases finales de maceración, permitiendo detectar estabilización o reducción de la astringencia real incluso cuando los taninos químicos siguen aumentando.

5. References

1. Gawel R. Red wine astringency: A review. *Australian Journal of Grape and Wine Research*. 4(2):74-95. (1998)
2. Peleg, H., Gacon, K., Schlich, P., & Noble, A. C. Bitterness and astringency of flavan-3-ol monomers, dimers and trimers. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 79(8), 1123-1128. (1999).
3. Fontoin H, Saucier C, Teissedre PL, Glories Y. Effect of pH, ethanol and acidity on astringency and bitterness of grape seed tannin oligomers in model wine solution. *Food Quality and Preference*. 19(3):286-291. (2008)
4. Kennedy JA. Grape and wine phenolics: Observations and recent findings. *Ciencia e Investigación Agraria*. 35(2):107-120. (2008)
5. Meillon S, Urbano C, Schlich P. Contribution of the temporal dominance of sensations (TDS) method to the sensory characterization of subtle differences in partially de-alcoholized red wines. *Food Quality and Preference*. 20(7):490-499. (2009)
6. Gawel, R. Red wine astringency: a review. *Australian Journal of Grape and Wine Research*, 4(2), 74-95. (1998)
7. Smith PA, McRae J.M., Bindon KA. Creating astringency in red wine. In: Santos-Buelga MC, editor. *Wine Chemistry and Biochemistry*. Springer. p. 389-417. (2015)
8. Vidal S, Francis L, Noble A, Kwiatkowski M, Cheynier V, Waters E. Taste and mouth-feel properties of different types of tannin-like polyphenolic compounds and anthocyanins in wine. *Analytica Chimica Acta*. 513(1):57-65. (2004)
9. Laguna L, Bartolome B, Moreno-Arribas MV. Contribution of oral tribology to the understanding of astringency. *Food Research International*. 100:438-447. (2017)
10. Brossard, N., Cai, H., Osorio, F., Bordeu, E., & Chen, J. (2016). "Oral" tribological study on the astringency sensation of red wines. *Journal of Texture Studies*, 47(5), 392-402.
11. Brossard N, Smith PA, Laguna L, Neilson A. Oral tribology as a predictive tool for astringency perception in complex wine matrices: Advances and challenges. *Trends in Food Science & Technology*. 115:251-263. (2021)
12. Wilhelmy, C., Pavez, C., Bordeu, E., & Brossard, N. (2021). A Review of Tannin Determination Methods Using Spectro-photometric Detection in Red Wines and Their Ability to Predict Astringency. *South African Journal of Enology and Viticulture*, 42(1), 1-9.
13. González-Muñoz, B., Garrido-Vargas, F., Pavez, C., Osorio, F., Chen, J., Bordeu, E., ... & Brossard, N. (2022). Wine astringency: More than just tannin–protein interactions. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 102(5), 1771-1781.