



DOCUMENTO DE EXTENSIÓN TÉCNICA E INTERPRETACIÓN ENOLÓGICA

Variabilidad Fenólica, Polisacarídica y Cromática en Vinos Chardonnay Chilenos: Aplicaciones para Ingenieros Agrónomos Enólogos

Traducción adaptada del artículo científico publicado en Foods (2026) hacia la gestión de precisión en viñedos y bodegas chilenas.

Estudio Base: Peña-Neira, A. et al. "Phenolic, Polysaccharide, and Color Variability in Chilean Commercial Chardonnay Wines: Influence of Closure Type, Geographic Origin, and Vintage." Foods 2026, 15, 1735.

Destinatarios: Ingenieros Agrónomos, Directores Técnicos, Enólogos y Académicos del Sector Vitivinícola. Chile, 2026

1. Introducción y Justificación Enológica

El Chardonnay se posiciona como una de las variedades blancas de mayor relevancia económica y técnica en la industria vitivinícola chilena y global. Su plasticidad fenotípica y gran adaptabilidad tecnológica permiten la coexistencia de perfiles extremadamente disímiles: desde vinos con marcada tensión ácida y frescura aromática procedentes de valles costeros fríos, hasta expresiones estructuradas, corpóreas y maduras de zonas interiores continentales.

En Chile, esta diversidad geomorfológica y climática se manifiesta de forma nítida debido a factores concurrentes:

- Un gradiente latitudinal extenso que modifica las tasas de radiación y heliofanía.
- La influencia marina de la Corriente de Humboldt, que estabiliza las temperaturas mínimas y máximas en las macrozonas de costa.
- Las marcadas diferencias de oscilación térmica diaria entre los sectores costeros e interiores.
- La heterogeneidad de los suelos y las decisiones estratégicas de manejo de canopia y regadío.

Tradicionalmente, las bodegas comerciales evalúan sus matrices blancas recurriendo a parámetros analíticos clásicos (pH, acidez total, grado alcohólico y azúcares residuales). Si bien son indispensables para el control de procesos, estas variables poseen un nulo poder discriminante para descifrar las sutilezas asociadas a la textura en boca, la viscosidad coloidal, el amargor fino, la evolución cromática u oxidativa y el potencial real de guarda en botella.

La investigación publicada en Foods (2026) marca un hito al demostrar que variables químicas avanzadas (fracciones espectrofotométricas e hidrolíticas de hidroxinamatos, flavonoles, taninos reactivos, subfracciones de polisacáridos totales y el modelado tridimensional colorimétrico CIELab) logran deconstruir y explicar la verdadera huella molecular y de estilo de los vinos Chardonnay en el mercado nacional.

2. Objetivos del Estudio Científico

El ensayo original consistió en la caracterización analítica y molecular detallada de 30 vinos comerciales Chardonnay procedentes de las vendimias 2023 y 2024 (dos temporadas con perfiles térmicos diferenciados), bajo un diseño multifactorial que incluyó:

1. Tipo de sistema de cierre comercial (Corcho natural frente a Tapa Rosca / Screw Cap de alta estanqueidad).
2. Origen geográfico (Análisis por Valles específicos e influencia macroclimática Costera vs. Interior).
3. Factores de manejo tecnológico e historial enológico (vinificaciones estándar frente a crianzas de lías o barrica).

3. Zonificación y Caracterización Bioclimática de las Muestras

La muestra experimental abarcó un espectro real de la vitivinicultura chilena, integrando lotes comerciales originarios de los siguientes valles:

- — Macrozona Costera / Fría: Limarí, Casablanca, Leyda, San Antonio y Aconcagua Costa.
- — Macrozona Interior / Cálida: Aconcagua Interior, Cachapoal, Colchagua y Valle Central.
- — Macrozona Austral / Fría-Húmeda: Biobío y Malleco.

3.1. Impacto del Clima en el Metabolismo de la Baya

Los datos bioclimáticos analizados en el material suplementario revelan contrastes térmicos basales estables:

A) Regiones Costeras y Australes:

- Baja acumulación térmica en base a Días Grado (GDD), provocando una cinética de maduración pausada.
- Preservación metabólica del ácido málico celular gracias a noches frías y neblinas matinales.
- Menor biosíntesis natural de taninos extractables en hollejos.

B) Regiones Interiores Continentales:

- Mayor integral térmica y exposición a radiación UV, acelerando la acumulación de azúcares y la degradación ácida.
- Mayor síntesis de compuestos fenólicos secundarios como mecanismo de fotoprotección de la baya.
- Mayor propensión inicial al pardeamiento oxidativo si no se gestionan atmósferas inertes.

4. Parámetros Básicos Tradicionales: La Homogeneización Tecnológica

Un resultado de gran trascendencia analítica fue observar que variables estándar como el grado alcohólico final, el pH basal, la acidez total (expresada en ácido tartárico) y el Índice de Fenoles Totales (IPT) genérico no presentaron variaciones estadísticas significativas entre muestras de valles diametralmente opuestos.

4.1. Consecuencia Operativa para el Enólogo

Este fenómeno es el reflejo del extraordinario nivel de estandarización tecnológica de la industria chilena moderna. Mediante el uso riguroso de adiciones de ácido tartárico en mosto, control de puntos de cosecha, selección de levaduras comerciales de alto rendimiento y el empleo de clarificantes de precisión, las bodegas logran homogeneizar las analíticas básicas de los vinos para responder a los estándares del mercado internacional.

PUNTO CRÍTICO: *La homogeneidad de los datos básicos demuestra que la identidad de un Chardonnay comercial de alta gama no reside en su pH o grado alcohólico, sino en la sutil química de su matriz macromolecular: polisacáridos solubles, evolución de sus fracciones tánicas y el comportamiento cinético de la oxidación.*

5. Composición Fenólica Fina en Chardonnay

5.1. Dinámica de los Compuestos Fenólicos en la Matriz Blanca

Aunque un vino blanco posee un contenido fenólico sustancialmente inferior al de un vino tinto, estas moléculas gobiernan procesos organolépticos determinantes: la susceptibilidad al pardeamiento visual, la estabilidad cromática, la aparición de notas amargas en el retrogusto y la longevidad del perfil aromático varietal.

5.2. Hidroxicinamatos: Los Componentes Fenólicos Dominantes

El mapeo mediante HPLC-DAD ratificó que los ácidos hidroxycifámicos y sus ésteres tartáricos constituyen la principal familia fenólica del Chardonnay. Destacan:

- Ácido Caftárico: Sustrato fenólico primario de la pulpa, altamente sensible a la oxidación enzimática.
- Ácido Coutárico: Presente de forma constante, cuya tasa de hidrólisis libera formas libres oxidables.
- Ácidos Cafeico y p-Cumárico Libres: Indicadores químicos directos del nivel de evolución o estrés térmico sufrido por el vino.

5.3. Implicancias Técnicas en Bodega

Estas moléculas actúan como los sustratos preferenciales de la enzima polifenoloxidasas (PPO) en mostos y de la oxidación química en el vino terminado. Al reaccionar con el oxígeno libre, se transforman en quinonas. Las quinonas polimerizan velozmente, dando origen a macromoléculas marrones que destruyen los tonos verdosos de juventud, amarillean la matriz y neutralizan por adición nucleofílica a los tioles varietales responsables de los descriptores cítricos y de fruta tropical fresca.

6. Taninos en Vinos Blancos: Quiebre de Paradigmas

El estudio demostró que la concentración de taninos totales (proantocianidinas) en los Chardonnay comerciales chilenos sí arrojó diferencias estadísticas marcadas en función del origen geográfico de la uva y del tipo de cierre empleado en la botella. Este hallazgo desmitifica la creencia generalizada de que los taninos son exclusivos de la viticultura en tintos.

6.1. Aplicación Práctica Directa en Línea de Proceso

- Gestión de Uvas de Valles Costeros: Al poseer menor madurez estructural basal de los tejidos foliares y hollejos, es fundamental operar prensas neumáticas con ciclos de presión suaves y fraccionados, idealmente bajo inertización completa, para evitar el arrastre de taninos reactivos de la semilla que desencadenarían amargores punzantes al interactuar con la elevada acidez natural del vino.
- Gestión de Uvas de Valles Interiores: Con mayor carga tánica nativa, el foco debe estar centrado en desborres estáticos rigurosos (80-120 NTU) y el uso de clarificantes proteicos selectivos (como la gelatina de alta hidrólisis o la proteína de arveja) para pulir las fracciones poliméricas astringentes antes de la fermentación. Esto sin lugar a dudas va a depender del estilo de vino que busque cada enólogo, de lo reductivo u oxidativo que se plantee el proceso fermentativo y del “peso en boca” que se busque en cada estilo de vino.

7. Modelado del Color Mediante Espectrofotometría Tridimensional CIELab

La medición tradicional de absorbancia a 420 nm resulta limitada y plana para la alta enología actual. El modelo espacial CIELab describe el color percibido de forma exacta a través de ejes ortogonales:

- L^* (Luminosidad): Indica la claridad del vino (0 a 100). Valores altos reflejan un vino libre de micro-suspensiones opacas.
- a^* (Coordenada Verde-Rojo): Valores negativos significan presencia de tonos verdes, sinónimo directo de frescura visual.
- b^* (Coordenada Azul-Amarillo): El eje crítico del Chardonnay. El aumento de valores positivos en b^* denota el avance irreversible hacia tonos amarillos intensos y dorados evolutivos.

7.1. Comportamiento según el Terroir

Los Chardonnay de zonas costeras mantuvieron a lo largo del tiempo valores de luminosidad (L^*) significativamente más elevados y coordenadas b^* controladas, preservando un aspecto visual juvenil y brillante. Los vinos de origen continental mostraron un desplazamiento cinético precoz hacia el cuadrante positivo de b^* , coherente con una mayor madurez fenólica del hollejo.

8. Polisacáridos: Los Pilares de la Textura y el Equilibrio Coloidal

El análisis por exclusión de tamaño (SEC) del estudio demostró que las fracciones de polisacáridos son los analitos con mayor peso discriminante para mapear los estilos comerciales de Chardonnay en Chile.

8.1. Las Cuatro Fracciones de Peso Molecular Estudiadas

- Fracción FI: Estructuras macro-moleculares densas derivadas de las paredes celulares vegetales.
- Fracción FII y FIII: Polisacáridos de peso medio ricos en arabinanos y arabinogalactanos, provenientes puramente de la uva.

- Fracción FIV: Complejos coloidales compuestos por manoproteínas solubles de bajo peso molecular liberadas por las levaduras.

8.2. Un Descubrimiento Trascendental para la Industria

El análisis estadístico demostró que mientras el color y la composición fenólica fina están fuertemente condicionados por las fluctuaciones climáticas anuales (efecto añada), la concentración total de las fracciones de polisacáridos no varió de forma significativa entre las vendimias 2023 y 2024. Las diferencias respondieron exclusivamente al Origen Geográfico y al Tipo de Cierre.

IMPLICANCIA PRÁCTICA: *Este hallazgo entrega un poder enorme al enólogo@: la textura, el volumen en boca y la untuosidad del Chardonnay no dependen del clima del año, sino de la tipicidad del suelo del viñedo y de la correcta ejecución de los protocolos de crianza sobre lías en la bodega.*

9. Gestión Científica de la Crianza sobre Lías (borras finas)

La autólisis inducida de las levaduras durante la crianza sobre lías libera de forma masiva manoproteínas y compuestos reductores (glutación celular nativo). Esta práctica ejerce efectos medulares en la arquitectura del vino:

- Amortiguación de Aristas Ácidas: Las manoproteínas interactúan con los receptores de la cavidad bucal, recubriéndolos y disminuyendo la reactividad del ácido málico o tartárico libre sin alterar el pH real.
- Suavizado del Amargor Fenólico: Forman complejos hidrofóbicos estables con los taninos libres extraídos en el prensado, neutralizando su capacidad de agregación proteica en la saliva.
- Barrera Antioxidante Pasiva: Las lías finas actúan como sumideros naturales de oxígeno disuelto, protegiendo los aromas frutales primarios de la degradación por quinonas.

10. Impacto Técnico del Sistema de Cierre: Corcho vs. Tapa Rosca

La investigación ratifica que el tapón no es un componente inerte del empaque, sino una variable enológica activa que determina la velocidad de las reacciones redox de la matriz coloidal en botella:

- Corcho Natural: Aporta una Tasa de Transmisión de Oxígeno (OTR) baja pero constante. Esto favorece la polimerización progresiva de taninos y ácidos fenólicos, reduciendo la astringencia analítica y promoviendo notas de evolución noble (miel, frutos secos, complejidad de guarda).
- Tapa Rosca (Screw Cap): Genera un sellado hermético de alta estanqueidad. Mantiene los hidroxycinamatos en estado reducido, congelando el color b^* y maximizando la retención de descriptores de fruta fresca y tioles varietales. Requiere un control absoluto de los compuestos de azufre en pre-embotellado para mitigar riesgos de reducción.

11. Tabla de Correlaciones Químico-Sensoriales Avanzadas

Para facilitar la toma de decisiones técnico-comerciales en la bodega, se presenta la siguiente matriz que conecta los componentes moleculares analizados con las percepciones organolépticas finales en la copa:

Componente Molecular	Impacto Sensorial en Copa	Estrategia de Control Enológico
Polisacáridos Solubles (Fracción FIV - Manoproteínas)	Aumento de la viscosidad física, untuosidad, redondez en boca y persistencia global.	Uso de levaduras de alta autólisis, enzimas β -glucanasas en crianza y batonnage periódico.
Hidroxycinamatos Libres (Ácidos Cafeico y <i>p</i> -Cumárico)	Amarilleamiento visual, pérdida de descriptores frutales frescos y aparición de notas pesadas.	Vinificación reductiva, control estricto de O_2 disuelto en embotellado y uso de cierres herméticos.
Taninos Totales (Proantocianidinas oligoméricas)	Aporte de estructura en el centro de la boca, con riesgo de amargor rústico y sequedad final.	Fraccionamiento estricto de presiones en prensado y clarificaciones selectivas con proteínas vegetales.

12. Recomendaciones Estratégicas y Conclusiones

A modo de conclusiones operativas para el diseño de estrategias vitivinícolas de precisión en la industria chilena, se desprenden tres directrices técnicas:

12.1. Para Perfiles de Alta Tensión y Frescura Marina (Estilo Costero):

- Cosecha temprana regulada por la evolución del pH y no solo por grados Brix.
- Prensado ultra-suave en atmósfera inerte para mitigar la extracción de taninos reactivos.
- Uso estratégico de Tapa Rosca para bloquear el eje cromático b* y estabilizar el color juvenil.

12.2. Para Perfiles de Guarda, Complejidad y Volumen (Estilo Clásico):

- Crianza prolongada sobre lías finas (6-10 meses) acoplada a batonnage según perfil de cata.
- Incorporación selectiva de fermentación en barricas de roble francés para promover microoxigenaciones nobles.
- Uso de corcho natural con tasas de OTR validadas para favorecer la evolución elegante de los hidroxycinamatos.

13. Referencias Bibliográficas Base

1. Peña-Neira, A. et al. "Phenolic, Polysaccharide, and Color Variability in Chilean Commercial Chardonnay Wines: Influence of Closure Type, Geographic Origin, and Vintage." *Foods* 2026, 15, 1735.
2. Oficina de Estudios y Políticas Agrarias (ODEPA). Informes de Previsiones Vitivinícolas; Ministerio de Agricultura: Santiago, Chile, 2023-2024.
3. Dirección Meteorológica de Chile (DMC). Base de Datos Climatológica de Precisión para Valles Vitivinícolas Chilenos; DMC: Santiago, Chile, 2024.
4. Organización Internacional de la Viña y el Vino (OIV). Compendio de Métodos Internacionales de Análisis de Vinos y Mostos; OIV: París, Francia, 2021.