

# Aplicación de chips de sarmientos, microondas y ultrasonidos como estrategias tecnológicas para la crianza de vinos Bonarda

## *Application of Vine-shoot Chips, Microwaves and Ultrasound as Technological Strategies for Bonarda Wines Aging*

Fanzone, Martín<sup>1,2</sup>; Catania, Anibal<sup>2</sup>; Jofré, Viviana<sup>1,2</sup>; Assof, Mariela<sup>1,2</sup>; Prieto, Jorge<sup>1,2</sup>; Lacognata Sottano, Juan<sup>1</sup>; Quaglia, Lourdes<sup>1</sup>; Mastropietro, Miguel<sup>1</sup>; Chimeno, Valeria<sup>2</sup>; Mercado, Laura<sup>2</sup>; Sari, Santiago<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Universidad Juan Agustín Maza. Centro de Estudios Vitivinícolas y Agroindustriales. Mendoza; Argentina

<sup>2</sup> Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria. Estación Experimental Mendoza; Argentina

DOI: <https://doi.org/10.59872/icu.v8i11.504>

Correo de correspondencia: [mfanzone@umaza.edu.ar](mailto:mfanzone@umaza.edu.ar)

Recepción: 08/05/2024; Aceptación: 29/05/2024;

Publicación: 02/07/2024

Palabras claves: Chips sarmientos; Microondas; Ultrasonidos;

Compuestos fenólicos; Bonarda

Keywords: Vine-shoots chips; Microwaves; Ultrasound;

Phenolic compounds; Bonarda

### Resumen

La crianza en madera constituye un proceso enológico de gran impacto en la calidad química y sensorial de los vinos. Una alternativa consiste en la utilización de chips de sarmientos obtenidos en la poda de la vid. Por otro lado, el tiempo de crianza representa otro factor significativo, siendo las radiaciones no-ionizantes herramientas tecnológicas interesantes para reducirlo sin afectar la calidad del vino. El objetivo de este estudio fue analizar la factibilidad de aplicación de microondas (MW) y ultrasonidos (US) en combinación con madera de sarmientos (chips) de distintas variedades (BN, Bonarda; MB, Malbec; TR, Torrontés riojano; TN, Tannat; AB, Aspirant bouchet) para la crianza de vinos Bonarda. Los factores a evaluar fueron «origen del sarmiento» (vino testigo, CHBN, CHMB, CHTR, CHTN, CHAB) y «aplicación de radiaciones» (control, MW, US). En general, la aplicación de chips independientemente de la variedad provocó una disminución del contenido de fenoles, taninos y antocianos, indicando una posible adsorción por el material vegetal. Los vinos con MW revelaron niveles superiores de acidez titulable y pigmentos poliméricos, e inferiores de pH, respecto a los controles; en tanto, el empleo de US generó una mayor extracción de taninos y pH superiores en los vinos, indicando una evolución acelerada en relación al resto. La combinación de ambas estrategias permitió la obtención de vinos Bonarda de alta calidad química, y complejidad en términos de atributos aromáticos y sensaciones organolépticas en boca. En conclusión, las tecnologías propuestas constituyen estrategias de bajo costo e impacto ambiental, con posibilidad de transferencia al medio vitivinícola regional, para generar agregado de valor en vinos tintos.

### Abstract

*Aging in wood is an oenological process that has a great impact on the chemical and sensory quality of wines. An alternative is the use of vine-shoot chips obtained from vine pruning. On the other hand, aging time represents another significant factor, and non-ionizing radiation is an interesting technological tool to reduce it without affecting wine quality. This study aimed to analyze the feasibility of applying microwaves (MW) and ultrasound (US) in combination with vine-shoot chips of different varieties (BN, Bonarda; MB, Malbec; TR, Torrontés riojano; TN, Tannat; AB, Aspirant bouchet) for Bonarda wines aging. The factors to be evaluated were «vine-shoot origin» (control wine, CHBN, CHMB, CHTR, CHTN, CHAB) and «radiation application» (control, MW, US). In general, the application of chips regardless of variety caused a decrease in phenols, tannins, and anthocyanins content, indicating possible adsorption by the plant material. Wines with MW revealed higher levels of titratable acidity and polymeric pigments, and lower pH, compared to the controls; meanwhile, the use of US generated a higher extraction of tannins and higher pH in the wines, indicating an accelerated evolution compared to the rest. The combination of both strategies allowed obtaining Bonarda wines of high chemical quality and complexity in terms of aromatic attributes and organoleptic sensations in the mouth. In conclusion, the proposed technologies constitute low-cost and low environmental impact strategies, with the possibility of transferring them to the regional wine industry, to generate added value in red wines.*

## Introducción

La tendencia actual hacia una vitivinicultura sostenible implica, entre otros aspectos, una gestión eficiente de los residuos y subproductos generados a lo largo de toda la cadena, contribuyendo al concepto de economía circular (Jindo *et al.*, 2018). Uno de los principales residuos de esta actividad agrícola corresponde a los sarmientos obtenidos durante la poda invernal. Este material lignocelulósico representa, a nivel mundial, un volumen anual promedio de 2 toneladas por hectárea (Sánchez-Gómez *et al.*, 2014), el cual se destina principalmente a compostaje o quemado siendo perjudicial para el ambiente por la liberación de gases como CO<sub>2</sub> y NO<sub>2</sub> (Calderón-Martín *et al.*, 2022).

A nivel químico-enológico, estudios recientes han caracterizado la composición química (volátil y no-volátil) de fragmentos de sarmientos de algunos cultivares (Delgado de la Torre *et al.*, 2014 y Ferreyra *et al.*, 2020), mientras que otros han evaluado el impacto del proceso de tostado (Sánchez-Gómez *et al.*, 2016) y el potencial de aplicación como aditivo enológico en función del tamaño de los fragmentos, el tipo de tostado, la dosis y el tiempo de contacto (Fanzone *et al.*, 2021 y Sánchez-Gómez *et al.*, 2023).

En la elaboración de vinos tintos existen diversos procesos enológicos que ejercen un impacto significativo en la calidad química y sensorial de los mismos, y en el costo final del producto. Entre ellos, se destaca el añejamiento o crianza en madera. Durante este proceso extractivo, realizado tradicionalmente en barricas de roble, los compuestos volátiles y no-volátiles del vino sufren modificaciones debidas a reacciones químicas y a la sesión de compuestos por parte de la madera. En la actualidad, el uso de piezas de roble (chips, duelas, etc.) constituye una estrategia económica muy difundida para simular los efectos logrados con las barricas (Laqui-Estaña *et al.*, 2019). En este contexto, otra alternativa de bajo costo e impacto ambiental consiste en la utilización de fragmentos de sarmientos (chips), que según estudios previos poseen niveles comparables de compuestos volátiles (furanoides, bencenoides, terpenoides) y fenólicos a la madera de roble, además de concentraciones elevadas de resveratrol y ausencia de elagitaninos (Cebrián-Tarancón *et al.*, 2018a y Cebrián-Tarancón *et al.*, 2018b).

Por otro lado, los tiempos de crianza para obtener los resultados buscados según el estilo de vino suelen ser prolongados, implicando un alto costo debido a la inmovilización de activos y posibles riesgos de contaminación del producto final. Por consiguiente, la reducción de estos tiempos sin afectar la calidad del vino y manteniendo precios competitivos, resulta un importante desafío para la industria. En respuesta a esta necesidad, se han estudiado algunas tecnologías innovadoras de envejecimiento físico, como los ultrasonidos (Zhang *et al.*, 2023) y las microondas (Muñoz-García *et al.*, 2023), entre otras.

La variedad Corbeau, llamada Bonarda en Argentina (*Vitis vinifera* L.), es el segundo cultivar tinto más importante después del Malbec, con 17448 ha, representando alrededor del 16% del total de uvas tintas para vinificación en Argentina según el Instituto Nacional de Vitivinicultura (INV, 2023). Además, su participación en otras regiones vitivinícolas del mundo es muy baja, lo que convierte a nuestro país en el único capaz de producirla a gran escala, sin competidores directos. Sin embargo, a pesar de su importancia económica y cultural, en la actualidad existe sólo conocimiento empírico no publicado sobre las condiciones adecuadas de elaboración de acuerdo al estilo de vino buscado. Según resultados recientes de nuestro equipo de trabajo (Fanzone *et al.*, 2021), la aplicación de chips de sarmientos cv. Bonarda (tostados y sin tostar) durante la crianza de vinos de esta variedad impactó significativamente a nivel sensorial, aumentando la complejidad de los mismos en atributos aromáticos y sensación en boca.

En base a todo lo mencionado, el objetivo de este trabajo fue analizar la factibilidad de aplicación de microondas (MW) y ultrasonidos (US) en combinación con madera de sarmientos de distintas variedades de vid como tecnologías innovadoras para la crianza de vinos Bonarda. Mediante estas estrategias se pretende generar agregado de valor al producto final y establecer protocolos transferibles a escala industrial.

## Materiales y métodos

### Madera de sarmientos

El material vegetal empleado para la evaluación como madera de sarmientos se obtuvo de viñedos experimentales (BN, Bonarda; MB, Malbec; TR, Torrontés riojano; TN, Tannat; AB, Aspirant bouchet), ubicados en la EEA Mendoza INTA (Luján de Cuyo, Argentina). En todos los casos, las plantas se encontraban conducidas en espaldero alto, con poda en cordón bilateral, riego superficial y manejo vitícola estandarizado por INTA. Los sarmientos se podaron durante el invierno (agosto 2021), 120 días después de la vendimia, se recogieron 20 kg de cada variedad, y se almacenaron intactos en condiciones controladas (oscuridad, 15 ± 3 °C, HR 45-50%) durante 6 meses (Cebrián-Tarancón *et al.*, 2017). Luego se realizó el trozado manual para la obtención de "chips" (CH), fragmentos de 1-2 cm de largo, los cuales fueron almacenados (2-4 °C) hasta su utilización en el ensayo de crianza de vinos.

### Diseño experimental

El ensayo de crianza se realizó con un vino Bonarda obtenido a partir de uvas provenientes de un viñedo comercial (Ugarteche, Mendoza), cosechadas en madurez tecnológica (23-24° Brix, vendimia 2022). Las uvas (250 kg) se descobajaron, sulfitaron (100 mg K<sub>2</sub>S<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/kg) y el mosto se vinificó en un tanque de acero inoxidable (200 L) empleando un protocolo estandarizado (Fanzone

*et al.*, 2020). Finalizada la fermentación maloláctica y estabilización, el vino fue sometido al ensayo de crianza con chips de sarmientos varietales y aplicación de radiaciones no-ionizantes. Los tratamientos propuestos se aplicaron mediante un diseño completamente aleatorizado, con 3 réplicas. Los factores evaluados fueron «F1-origen del sarmiento» (6 niveles: vino testigo, T; CHBN; CHMB; CHTN; CHAB; CHTR) y «F2-aplicación de radiaciones» (3 niveles: control, C; microondas, MW; ultrasonidos, US). Todas las unidades experimentales (3 L, bag in box) fueron sometidas a un proceso de crianza (60 días), en condiciones controladas (15°C, HR 45-50%). En todos los casos la dosis de chips fue de 12 g/L. Se empleó un microondas doméstico (2450 MHz, 900 W; Moretti Micropro-25, Argentina) y un homogeneizador ultrasónico de laboratorio (20KHz, 500W; JY92-IINA, China). Transcurrido el tiempo de crianza establecido, se separó inmediatamente el vino de los sarmientos, para cada unidad experimental, se envasó en botellas de vidrio (375 mL) con tapa a rosca, y se procedió a su caracterización química y sensorial. Consecuentemente, se obtuvieron 54 vinos (F1 x F2 x tres repeticiones).

#### Determinación de parámetros analíticos generales de los vinos

Se determinaron parámetros estándar, como acidez titulable (ácido tartárico, g/L), acidez volátil (ácido acético, g/L), ácido málico (g/L), ácido láctico (g/L), pH y contenido de alcohol (% v/v), según lo descrito por la Organización Internacional de la Viña y el Vino (OIV, 2017), utilizando un autoanalizador ALPHA FT-IR (Bruker Optics, Ettlingen, Alemania) y un alcoholímetro (Alcolyzer Wine®; Anton-Paar GmbH, Austria).

#### Composición fenólica global y parámetros de color

Las muestras de vino fueron centrifugadas (11000 g, 5 min) y filtradas (0,45 µm) antes de ser analizadas. Las mediciones de absorbancia se realizaron empleando un espectrofotómetro UV-Visible (Perkin-Elmer Lambda 25, Hartford, CT, USA). El contenido de taninos [eq. (+)-catequina, mg/L] fue determinado a través del método por precipitación de proteínas propuesto por Harbertson *et al.* (2002). La concentración de antocianinas totales (eq. malvidina-3-glucósido, mg/L), y la proporción de pigmentos poliméricos pequeños (SPP), pigmentos poliméricos grandes (LPP) y pigmentos poliméricos totales (SPP + LPP) fueron medidas siguiendo la metodología descrita en estudios previos (Harbertson *et al.*, 2003). Los compuestos fenólicos reactivos al hierro (fenoles totales) fueron analizados siguiendo la técnica propuesta por Heredia *et al.* (2006). Para la caracterización del color de los vinos se empleó el espacio de color CIELAB (Gordillo *et al.*, 2012), siguiendo las recomendaciones de la *Commission Internationale de L'Eclairage* (CIE, 2004). Los parámetros CIELAB [L\*(claridad, 0 negro y 100 blanco), C\*ab (saturación), hab (tonalidad; rojo, verde, amarillo), y las coordenadas a\*b\* (rojo/verde; amarillo/azul)] fueron calculados a partir del espectro de absorción (380-780 nm) a intervalos de 1 nm con cubetas de vidrio de 1 mm de paso óptico, empelando un paquete del software R (*colorscience R package*, Gama, 2023). Las diferencias de color entre dos muestras ( $\Delta E^*ab$ ) fue calculada como la distancia euclideana entre dos puntos (1 y 2) en el espacio tridimensional (L\* a\* b\*).  $\Delta E^*ab (L^*1, a^*1, b^*1; L^*2, a^*2, b^*2) = [(\Delta L^*)^2 + (\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2]^{1/2}$ , donde  $\Delta L^* = L^*1 - L^*2$ ;  $\Delta a^* = a^*1 - a^*2$  y  $\Delta b^* = b^*1 - b^*2$ .

#### Análisis de antocianinas individuales y pigmentos derivados

La identificación y cuantificación de antocianinas en los vinos se realizó mediante un cromatógrafo en fase líquida con detector de arreglo de diodos (HPLC-DAD, Perkin-Elmer Series 200, Shelton, CT, USA), siguiendo la metodología reportada en estudios previos (Fanzone *et al.*, 2022).

#### Análisis sensorial descriptivo

Todos los vinos del ensayo fueron evaluados a los 3 meses del embotellado, mediante un panel de 12 jueces voluntarios (8 varones y 4 mujeres, entre 25 y 48 años de edad), incluyendo investigadores, técnicos y docentes (INTA, UMaza) con experiencia previa en degustación de vinos. Se aplicó un análisis sensorial descriptivo (QDA) siguiendo la metodología propuesta por Heymann y Lawless (2010). El consenso de atributos, el entrenamiento con patrones de referencia y la escala de evaluación (no estructurada) fueron desarrollados en 8 sesiones (1 h cada una) durante 4 semanas. Los panelistas seleccionaron 6 atributos de boca (acidez, amargo, dulce, volumen en boca, astringencia, picante) y 20 descriptores olfativos (frutos rojos, frutos secos, frutos tropicales, fruta cocida, mermelada, pasas, floral, balsámico, pimienta, pimiento verde, tierra, pasto, té, vainilla, chocolate, humo, cuero, manteca, tabaco, madera). Completado el entrenamiento, los panelistas evaluaron los 18 vinos (F1 x F2) por duplicado, durante 8 sesiones, mediante la aplicación de un diseño cuadrado latino de William. Cada sesión comenzó con el reconocimiento de los patrones de referencia. En todo el proceso se emplearon copas técnicas (ISO 3591, 1977) y un volumen de vino de 30 mL. La captura y recolección de datos se realizó mediante smartphones utilizando el software SOLDESA (ISETA, Buenos Aires, Argentina). El desempeño del panel fue monitoreado evaluando la correlación de los panelistas con la media del panel, y mediante su contribución a la interacción «panelista x vino» para cada atributo. En ningún momento se brindó información sobre la naturaleza del estudio ni el origen de las muestras para evitar sesgos.

#### Análisis estadístico de los datos

Todas las determinaciones químicas fueron realizadas por duplicado. Para el análisis estadístico de los datos se empleó el software *Statgraphics Centurion XVI* (Statistical Graphics Corp., Warrenton, VA, 2009) y R (R Core, 2018). Se verificó normalidad (*Shapiro-Wilks W*) y homogeneidad de varianzas (Levene) de los resultados químicos y sensoriales. Se aplicó análisis de varianza de dos vías (*two-way ANOVA*) y comparación de medias por el test de Tukey ( $\alpha=0.05$ ). Finalmente, se utilizó el análisis de componentes principales (ACP) para evaluar las variables químicas y sensoriales estudiadas. Las elipses de confianza en los

ACP con los datos sensoriales se basaron en la distribución multivariada del test de Hotelling para  $p < 0,05$  y fueron construidas empleando la función *SensoMineR* del software R (Husson *et al.*, 2005).

**Resultados y discusión**

El impacto de chips de sarmientos de distintas variedades de vid y la aplicación de radiaciones no-ionizantes durante el proceso de crianza de vinos Bonarda fue significativo sobre la evolución de algunos parámetros químicos y sensoriales. Los efectos de interacción entre ambos factores fueron relevantes para los distintos analitos evaluados, revelando un comportamiento diferencial en la matriz de estudio.

**Parámetros analíticos generales de los vinos**

El ensayo de crianza se realizó a partir de un vino Bonarda (cosecha 2022) cuyos datos analíticos iniciales fueron: alcohol, 13,99 %v/v; acidez titulable, 5,32 g/L; pH, 3,71; acidez volátil, 0,41 g/L; y rastros de azúcar (<1,8 g/L). Los resultados de los vinos obtenidos después de la aplicación de los tratamientos, analizados mediante un ANOVA de dos vías considerando las interacciones entre F1 y F2, se muestran en la Tabla 1.

**Tabla 1.** Parámetros químicos generales de vinos Bonarda obtenidos aplicando chips de sarmientos y radiaciones durante la crianza.

Origen del sarmiento	Aplicación de radiaciones	Alcohol (% v/v)	pH	Acidez titulable (g/L)	Acidez volátil (g/L)
T	C	14.00* ± 0.03 b	3.72 ± 0.03 a	5.40 ± 0.10 a	0.43 ± 0.03 a
	MW	13.62 ± 0.06 a	3.70 ± 0.00 a	5.54 ± 0.03 a	0.56 ± 0.01 b
	US	13.64 ± 0.05 a	3.73 ± 0.01 a	5.41 ± 0.01 a	0.57 ± 0.01 b
<i>p</i> -value		<b>0.0001</b>	0.175	0.0594	<b>0.0002</b>
MB	C	14.00 ± 0.01 c	3.77 ± 0.01 a	5.17 ± 0.01 ab	0.43 ± 0.03 a
	MW	13.76 ± 0.02 b	3.74 ± 0.00 a	5.35 ± 0.02 b	0.56 ± 0.01 b
	US	13.59 ± 0.04 a	3.80 ± 0.02 b	5.03 ± 0.13 a	0.58 ± 0.01 b
<i>p</i> -value		<b>&lt;0.0001</b>	<b>0.0026</b>	<b>0.0067</b>	<b>&lt;0.0001</b>
BN	C	14.01 ± 0.01 b	3.77 ± 0.00 b	5.00 ± 0.01 a	0.44 ± 0.01 a
	MW	13.70 ± 0.08 a	3.74 ± 0.01 a	5.41 ± 0.02 b	0.55 ± 0.01 b
	US	13.62 ± 0.08 a	3.81 ± 0.01 c	4.99 ± 0.00 a	0.58 ± 0.02 b
<i>p</i> -value		<b>0.0006</b>	<b>0.0001</b>	<b>&lt;0.0001</b>	<b>&lt;0.0001</b>
TR	C	13.99 ± 0.02 c	3.77 ± 0.01 a	5.00 ± 0.01 b	0.44 ± 0.01 a
	MW	13.70 ± 0.03 a	3.73 ± 0.03 a	5.37 ± 0.05 c	0.53 ± 0.03 b
	US	13.83 ± 0.03 b	3.86 ± 0.02 b	4.63 ± 0.01 a	0.48 ± 0.01 a
<i>p</i> -value		<b>&lt;0.0001</b>	<b>0.0003</b>	<b>&lt;0.0001</b>	<b>0.0050</b>
TN	C	14.01 ± 0.01 c	3.78 ± 0.01 b	5.04 ± 0.01 b	0.45 ± 0.01 a
	MW	13.66 ± 0.03 a	3.73 ± 0.03 a	5.40 ± 0.04 c	0.54 ± 0.01 c
	US	13.88 ± 0.07 b	3.86 ± 0.02 c	4.68 ± 0.00 a	0.49 ± 0.01 b
<i>p</i> -value		<b>0.0002</b>	<b>0.0003</b>	<b>&lt;0.0001</b>	<b>&lt;0.0001</b>
AB	C	13.94 ± 0.01 b	3.79 ± 0.01 b	5.05 ± 0.05 b	0.44 ± 0.01 a
	MW	13.66 ± 0.03 a	3.76 ± 0.00 a	5.35 ± 0.00 c	0.55 ± 0.00 b
	US	13.65 ± 0.00 a	3.81 ± 0.00 c	4.93 ± 0.03 a	0.60 ± 0.01 c
<i>p</i> -value		<b>&lt;0.0001</b>	<b>&lt;0.0001</b>	<b>&lt;0.0001</b>	<b>&lt;0.0001</b>
<b>Two-way ANOVA</b>					
Origen del sarmiento (F1)		<b>&lt;0.0001</b>	<b>&lt;0.0001</b>	<b>&lt;0.0001</b>	<b>&lt;0.0001</b>
Aplicación de radiaciones (F2)		<b>&lt;0.0001</b>	<b>&lt;0.0001</b>	<b>&lt;0.0001</b>	<b>&lt;0.0001</b>
Interacción (F1 x F2)		<b>&lt;0.0001</b>	<b>&lt;0.0001</b>	<b>&lt;0.0001</b>	<b>&lt;0.0001</b>

\*Media ± DE (n=3). Letras diferentes en la misma columna para cada variedad de sarmiento indican diferencias significativas entre tratamientos de radiación (Tukey HSD test,  $p < 0.05$ ). *p*-values significativos mostrados en negrita.

Se observó un gran efecto del factor «radiaciones» (77,3 y 74,7%) y un menor efecto de interacción F1xF2 (12,7 y 13,6%) en el contenido de alcohol y la acidez volátil de los vinos, respectivamente, revelando un comportamiento diferencial respecto al origen del sarmiento utilizado. En los vinos con CHMB, CHBN y CHAB el nivel de alcohol disminuyó mayoritariamente con la aplicación de ultrasonidos, mostrando un efecto contrario sobre la acidez volátil. En tanto, los vinos con CHTR y CHTN mostraron una tendencia similar al aplicar microondas. El fenómeno de cavitación generado por las radiaciones ultrasónicas acelera la

oxidación de distintos compuestos químicos del vino, entre ellos los alcoholes, lo cual podría explicar la disminución del etanol y la consecuente producción de ácido acético (Gavahian *et al.*, 2022). Por su parte, la temperatura alcanzada durante el tratamiento con microondas (40 °C) podría favorecer la volatilización del alcohol y su disminución en los vinos correspondientes.

Al analizar los demás parámetros analíticos, el impacto del factor «radiaciones» también fue significativo (53,3 y 49,1%), pero se observó un efecto relevante del factor «origen del sarmiento» (31,6 y 31,9%) sobre la acidez titulable y el pH, respectivamente. En todos los casos, los chips de sarmientos, independientemente del origen varietal, aumentaron significativamente el pH y disminuyeron la acidez titulable de los vinos en relación al testigo. Esto podría atribuirse a la extracción en el vino de iones potasio y calcio de los sarmientos, potenciando su precipitación como sales de tartrato, en concordancia con los datos reportados en estudios previos realizados con sarmientos y escobajos de la variedad Bonarda en vinos tintos (Fanzone *et al.*, 2021 y Fanzone *et al.*, 2023). Por su parte, la aplicación de ultrasonidos en combinación con los sarmientos generó un incremento superior del pH respecto al resto de los tratamientos, debido posiblemente a una mayor extracción de iones de la madera (Zhang *et al.*, 2023).

### Composición fenólica de los vinos

Previamente al ensayo de crianza, el vino Bonarda inicial mostró una composición fenólica global caracterizada por un contenido de 1257,9 mg/L de fenoles, 236,6 mg/L de taninos y 422,1 mg/L de antocianinas totales. A partir de los resultados de los vinos obtenidos después de la aplicación de los tratamientos se aplicó un análisis de componentes principales, con el objetivo de obtener una visualización simplificada de los datos y observar el impacto de los parámetros estudiados (ACP, Figura 1).

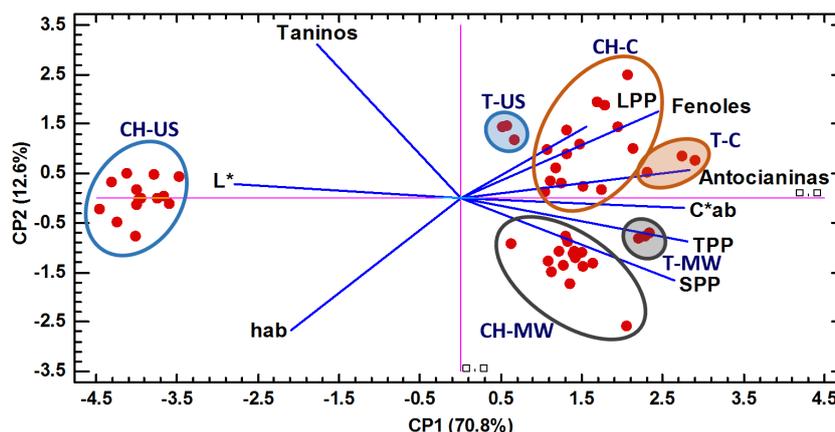


Figura 1. Análisis de componentes principales de vinos Bonarda obtenidos aplicando chips de sarmientos (CH) y radiaciones durante la crianza (C, control; MW, microondas; US, ultrasonidos), con respecto a compuestos fenólicos.

Los primeros dos componentes (CP1 y CP2) permitieron explicar el 83,4% de la variabilidad de los datos y revelaron la diferenciación parcial de los vinos de acuerdo a las radiaciones aplicadas como estrategia de crianza. La dimensión 1 (70,8%) fue descrita principalmente por las variables antocianinas (0,383), TPP (0,381), C\*ab (0,376) y L\* (-0,379); mientras que la dimensión 2 (12,6%) se caracterizó por registros positivos de taninos (0,61) y negativos de hab (-0,52). Los vinos con MW revelaron niveles superiores de pigmentos poliméricos (6,5 y 37,5%) y mayor saturación de color (3,2 y 24,7%), en relación a los vinos control y con US, respectivamente; en tanto, el empleo de US generó una mayor extracción de taninos (media 34,7%) y una tonalidad más rojiza en los vinos (aumento de hab), indicando una evolución acelerada en relación al resto. En general, la aplicación de chips independientemente de la variedad provocó una disminución del contenido de fenoles, antocianos, y pigmentos en los vinos, debido posiblemente a la adsorción por el material vegetal (Fanzone *et al.*, 2021). Por el contrario, el nivel de taninos de los vinos mostró un incremento con el empleo de sarmientos, especialmente en combinación con la aplicación de US, indicando un efecto importante de extracción. Estos resultados coinciden con datos reportados por otros autores al utilizar chips de roble y US como estrategias combinadas para la crianza de vinos Tempranillo (Jiménez-Sánchez *et al.*, 2022). Por su parte, la aplicación de MW contribuyó a la estabilidad del color de los vinos al favorecer la formación de piranoantocianinas y aductos flavanol-antocianina unidos por puente etilo (datos no mostrados), modulados también por el alto nivel de antocianinas observado en los mismos (Figura 1). Resultados similares fueron obtenidos en estudios anteriores realizados por nuestro grupo de trabajo (Fanzone *et al.*, 2022).

Por último, el estudio del color de los vinos se complementó evaluando la diferencia de color total ( $\Delta E^*ab$ ) entre tratamientos. Este importante parámetro para la industria vitivinícola expresa el umbral de discriminación visual en vinos cuando se sitúa entre 3 y 5 unidades CIELAB, en condiciones específicas (Martínez *et al.*, 2001 y Pérez-Magariño y González-Sanjosé 2003). En el presente estudio, los vinos Bonarda obtenidos aplicando chips de sarmientos de distintas variedades se distinguieron visualmente de los vinos testigo (Figura 2,  $\Delta E^*ab > 6$ ). Al analizar el factor «aplicación de radiaciones», los vinos con US se diferen-

ciaron claramente de los vinos control y con MW, y se caracterizaron por una menor intensidad de color ( $C^*ab$ ), mayor claridad ( $L^*$ ) y tonalidades rojizas ( $hab>2$ ).

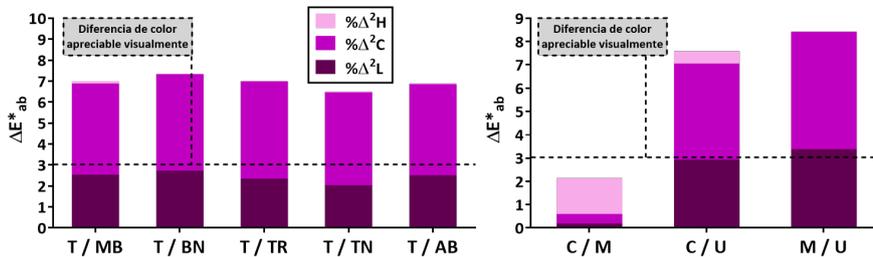


Figura 2. Diferencias de color ( $\Delta E^*ab$ ), con la contribución relativa de la claridad, saturación y tonalidad ( $\% \Delta^2L$ ,  $\% \Delta^2C$ ,  $\% \Delta^2H$ ), entre vinos Bonarda obtenidos mediante la aplicación de los factores de crianza (origen del sarmiento y radiaciones). El valor indicado por la línea discontinua expresa el umbral de discriminación visual en vinos (Martínez *et al.*, 2001 y Pérez-Magariño y González-Sanjosé 2003).

**Análisis sensorial de los vinos**

El análisis sensorial descriptivo de los vinos (QDA) realizado por un panel de 12 jueces entrenados mostró diferencias significativas en los atributos evaluados para algunos tratamientos aplicados. Cabe resaltar, que los ACPs obtenidos a partir de los vinos conservados con sarmientos MB y BN tratados con radiaciones, mostraron elipses de confianza no superpuestas que indicaron diferencias significativas y perfiles organolépticos particulares. En el caso de los vinos Bonarda con chips de MB, las muestras tratadas con microondas (MW) se caracterizaron por aromas a fruta cocida, frutas tropicales, té, pasto, chocolate, vainilla, humo, cuero, manteca, sensación dulce, picante y volumen en boca; las muestras con ultrasonidos (US) presentaron mayor astringencia, acidez y amargo; en tanto los vinos control fueron descritos con mayor intensidad de aromas florales, frutos rojos, balsámico y pimienta (Figura 3).

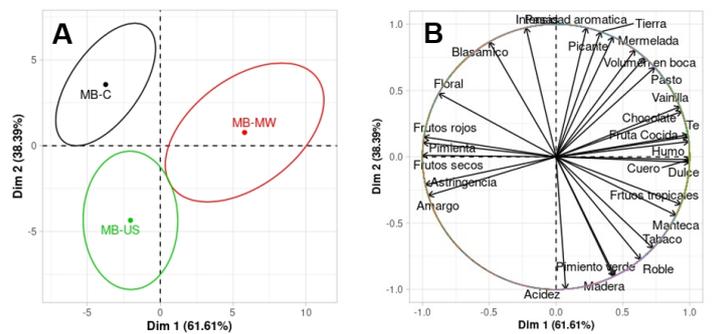


Figura 3. Análisis sensorial descriptivo de vinos Bonarda con chips de Malbec y aplicación de radiaciones. A, elipses de confianza. B, distribución de los atributos sensoriales.

Por su parte, los vinos tratados con chips de BN y aplicación de MW revelaron un carácter a cuero, manteca, pasas, pasto, vainilla, frutos secos, mayor amargor y volumen en boca; los vinos con US se caracterizaron por aromas a roble, tabaco, chocolate, humo, tierra, balsámico, floral, y mayor astringencia y sensación dulce; y los vinos control fueron descritos con aromas a pimienta y fruta cocida, frutos rojos, frutos tropicales, mermelada, sensación picante y acidez en boca (Figura 4).

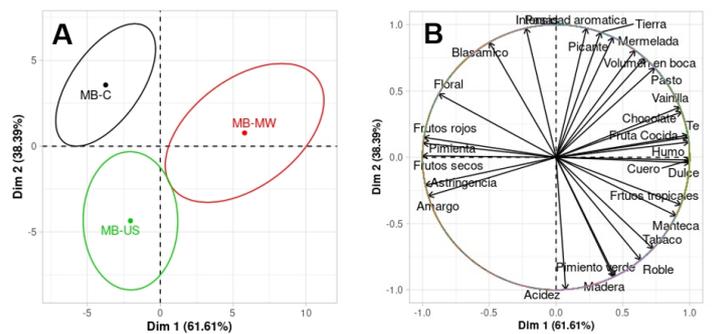


Figura 4. Análisis sensorial descriptivo de vinos Bonarda con chips de Bonarda y aplicación de radiaciones. A, elipses de confianza. B, distribución de los atributos sensoriales.

### Conclusión

El presente trabajo propone alternativas tecnológicas para la crianza de vinos tintos, consistiendo en el empleo de subproductos de la vid (sarmientos) como aditivos enológicos potenciales, y la aplicación de radiaciones no-ionizantes (microondas y ultrasonidos) como herramientas para favorecer y acelerar los procesos de extracción y evolución del vino en el tiempo. La combinación de ambas estrategias permitió la obtención de vinos Bonarda de alta calidad química, y complejidad en términos de atributos aromáticos y sensaciones organolépticas en boca.

Se requieren futuros estudios sobre este tema para evaluar otras condiciones experimentales como la dosis y formato de los sarmientos a utilizar y el tiempo de tratamiento con las radiaciones evaluadas en vinos blancos y tintos de distintas variedades y estilos. Además, resulta importante complementar estos resultados con datos sobre los efectos en la composición química odorante y la matriz de polisacáridos, para una mejor interpretación del impacto organoléptico en los vinos.

No obstante, las tecnologías propuestas podrían constituir estrategias de bajo costo e impacto ambiental, con posibilidad de transferencia al medio vitivinícola regional, para generar agregado de valor en vinos blancos y tintos.

### Agradecimientos

Los autores agradecen a la Universidad Juan Agustín Maza (Proyectos I+D Convocatoria 2022-2024) y al INTA (PD-E7-I153-001, 2019-2023) por proveer los fondos para la realización de este estudio, y a la empresa Bodega Peñaflor S.A. por proveer las uvas Bonarda para el estudio.

### Referencias bibliográficas

- Calderón-Martín, M.; Valdés-Sánchez, E.; Alexandre-Franco, M.F.; Fernández-González, M.C.; Vilanova de la Torre, M.; Cuerda-Correa, E.M.; Gómez-Serrano, V. Waste valorization in winemaking industry: Vine shoots as precursors to optimize sensory features in white wine. *LWT, Food Sci. Technol.* 2022, 163, 113601. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2022.113601>
- Cebrián-Tarancón, C.; Sánchez-Gómez, R.; Gómez-Alonso, S.; Hermosín-Gutierrez, I.; Mena-Morales, A.; García-Romero, E.; Salinas, M.R.; Zalacain, A. Vine-shoot tannins: Effect of post-pruning storage and toasting treatment. *J. Agric. Food Chem.* 2018b, 66, 5556-5562. <https://doi.org/10.1021/acs.jafc.8b01540>
- Cebrián-Tarancón, C.; Sánchez-Gómez, R.; Salinas, M.R.; Alonso, G.L.; Oliva, J.; Zalacain, A. Toasted vine-shoot chips as enological additive. *Food Chem.* 2018a, 263, 96-103. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2018.04.105>
- Cebrián-Tarancón, C.; Sánchez-Gómez, R.; Salinas, M.R.; Alonso, G.L.; Zalacain, A. Effect of post-pruning vine-shoots storage on the evolution of high-value compounds. *Ind. Crops Prod.* 2017, 109, 730-736. <http://dx.doi.org/10.1016/j.indcrop.2017.09.037>
- Commission Internationale de l'Eclairage (CIE). Technical Report Colorimetry; Commission Internationale de l'Eclairage Central Bureau; CIE: Vienna, Austria, 2004.
- Delgado de la Torre, M.P.; Priego-Capote, F.; Luque de Castro, M.D. Comparative profiling analysis of woody flavouring from vine-shoots and oak chips. *J. Sci. Food Agric.* 2014, 94, 504-514. <https://doi.org/10.1002/jsfa.6279>
- Fanzone, M.; Catania, A.; Assof, M.; Jofré, V.; Prieto, J.; Quiroga, D.G.; Sottano, J.L.; Sari, S. Application of Vine-Shoot Chips during Winemaking and Aging of Malbec and Bonarda Wines. *Beverages* 2021, 7, 51. <https://doi.org/10.3390/beverages7030051>
- Fanzone, M.; Coronado, I.; Sari, S.; Catania, A.; Gil i Cortiella, M.; Assof, M.; Jofré, V.; Ubeda, C.; Peña-Neira, A. Microwave-assisted maceration and stems addition in Bonarda grapes: Effects on wine chemical composition over two vintages. *Food Res. Int.* 2022, 156, 111169. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2022.111169>
- Fanzone, M.L.; Sari, S.E.; Mestre, M.V.; Catania, A.A.; Cotelén, M.J.; Jofré, V.P.; González-Miret, M.L.; Combina, M.; Vazquez, F.; Maturano, Y.P. Combination of pre-fermentative and fermentative strategies to produce Malbec wines of lower alcohol and pH, with high chemical and sensory quality. *OENO One* 2020, 54, 1041-1058. <https://doi.org/10.20870/oenone.2020.54.4.4018>
- Ferreira, S.G.; Antonioli, A.; Bottini, R.; Fontana, A. Bioactive compounds and total antioxidant capacity of cane residues from different grape varieties. *J. Sci. Food Agric.* 2020, 100, 376-383. <https://doi.org/10.1002/jsfa.10065>
- Gama, J. Colorscience: Color Science Methods and Data. R Package Version 1.0.8. Available online: <http://CRAN.R-project.org/package=colorscience> (acceso 01/04/2023)
- Gavahian, M.; Manyatsi, T.S.; Morata, A.; Tiwari, B.K. Ultrasound-assisted production of alcoholic beverages: From fermentation and sterilization to extraction and aging. *Compr. Rev. Food Sci. Food. Saf.* 2022, 21, 5243-5271. <https://doi.org/10.1111/1541-4337.13043>
- Gordillo, B.; Rodríguez-Pulido, F.J.; Escudero-Gilete, M.L.; González-Miret, M.L.; Heredia, F.J. Comprehensive colorimetric study of anthocyanic pigmentation in model solutions. Effects of pH and molar ratio. *J. Agric. Food Chem.* 2012, 60, 2896-2905. <https://doi.org/10.1021/jf2046202>
- Harbertson, J.F.; Kennedy, J.A.; Adams, D.O. Tannin in skins and seeds of Cabernet Sauvignon, Syrah, and Pinot Noir berries during ripening. *Am. J. Enol. Vitic.* 2002, 53, 54-59. <https://www.ajevonline.org/content/53/1/54>
- Harbertson, J.F.; Picciotto, E.A.; Adams, D.O. Measurement of polymeric pigments in grape berry extracts and wines using a protein precipitation assay combined with bisulfite bleaching. *Am. J. Enol. Vitic.* 2003, 54, 301-306. <https://www.ajevonline.org/content/54/4/301>
- Heredia, T.M.; Adams, D.O.; Fields, K.C.; Held, P.G.; Harbertson, J.F. Evaluation of a comprehensive Red wine phenolics assay using a microplate reader. *Am. J. Enol. Vitic.* 2006, 57, 497-502. <https://www.ajevonline.org/content/57/4/497>
- Heymann, H.; Lawless, H.T. Descriptive Analysis. In *Sensory Evaluation of Food. Principles and Practices* (Second Edition, pp. 227-258). Springer Publishing, 2010. <https://www.springer.com/gp/book/9781441964878>
- Husson, F.; Lê, S.; Pagès, J. Confidence ellipse for the sensory profiles obtained by principal component analysis. *Food Qual. Pref.* 2005, 16(3), 245-250. <https://doi.org/10.1016/j.foodqual.2004.04.019>
- Instituto Nacional de Vitivinicultura (INV) 2023. Informe de Variedades: Bonarda. [https://www.argentina.gob.ar/sites/default/files/2018/10/bonarda\\_2022.pdf](https://www.argentina.gob.ar/sites/default/files/2018/10/bonarda_2022.pdf)
- Jiménez-Sánchez, M.; Castro, R.; Rodríguez-Dodero, M.C.; Durán-Guerrero, E. The impact of ultrasound, micro-oxygenation and oak wood type on the phenolic and volatile composition of a Tempranillo red wine. *LWT, Food Sci. Technol.* 2022, 163, 113618. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2022.113618>
- Jindo, K.; Goron, T.L.; Pizarro-Tobías, P.; Sánchez-Monedero, M.A.; Audette, Y.; Deolu-Ajayi, A. O.; van der Werf, A.; Goitom Teklu, M.; Shenker, M.; Pombo Sudré, C.; Busato, J.G.; Ochoa-Hueso, R.; Nocentini, M.; Rippen, J.; Aroca, R.; Mesa, S.; Delgado, M.J.; Tortosa, G. Application of biostimulant products and biological control agents in sustainable viticulture: A review. *Front. Plant Sci.* 2022, 13. <https://doi.org/10.3389/fpls.2022.932311>
- Laqui-Estaña, J.; López-Solís, R.; Peña-Neira, A.; Medel-Marabolía, M.; Obreque-Slier, E. Wines in contact with oak wood: The impact of the variety (Carménère and Cabernet Sauvignon), format (barrels, chips and staves), and aging time on the phenolic composition. *J. Agric. Food Chem.* 2019, 99, 436-448. <https://doi.org/10.1002/jsfa.9205>

**Martínez, J.A.; Melgosa, M.; Pérez, M.M.; Hita, E.; Negueruela, A.I.** Note. Visual and instrumental color evaluation in red wines. *Food Sci. Technol. Int.* 2001, 7, 439-444. <https://doi.org/10.1106/vfat-5ren-1wk2-5jgq>

**Muñoz-García, R.; Díaz-Maroto, M.C.; Villena, M.A.; Pérez-Coello, M.S.; Alañón, M.E.** Ultrasound and microwave techniques as physical methods to accelerate oak wood aged aroma in red wines. *LWT - Food Sci. Technol.* 2023, 179, 114597. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2023.114597>

**Organización Internacional de la Viña y el Vino (OIV).** Compendium of international methods of wine and must analysis (vols. 1-2); París, Francia, 2017.

**Pérez-Magariño, S.; González-Sanjosé, M.L.** Application of absorbance values used in wineries for estimating CIELAB parameters in red wines. *Food Chem.* 2003, 81, 301-306. [https://doi.org/10.1016/s0308-8146\(02\)00509-5](https://doi.org/10.1016/s0308-8146(02)00509-5)

**Sánchez-Gómez, R.; Cebrián-Tarancón, C.; Fernández-Roldán, F.; Alonso, G.L.; Salinas, M.R.** Toasted Vine Shoots as an Alternative Enological Tool. Impact on the Sensory Profile of Tempranillo Wines during Bottle Aging. *J. Agric. Food Chem.* 2023. <https://doi.org/10.1021/acs.jafc.2c08982>

**Sánchez-Gómez, R.; Zalacain, A.; Alonso, G.L.; Salinas, M.R.** Effect of toasting on non-volatile and volatile vine-shoots low molecular weight phenolic compounds. *Food Chem.* 2016, 204, 499-505. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2016.02.137>

**Zhang, Q.A.; Zheng, H.; Lin, J.; Nie, G.; Fan, X.; García-Martín, J.F.** The state-of-the-art research of the application of ultrasound to winemaking: A critical review. *Ultrason. Sonochem.* 2023, 95, 106384. <https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2023.106384>