



## Vinificación y guarda de vinos Carignan en tinajas de arcilla de Pañul: estudio de la composición volátil de los vinos

### *Vinification and Aging of Carignan Wines in Pañul's Clay Vessels: Study of Wine Volatile Compounds*

María Esperanza Egaña-Juricic, Gastón Gutiérrez-Gamboa  
y Yerko Moreno-Simunovic<sup>1</sup>

#### Resumen

Los recipientes de arcilla, desde la antigüedad, se han utilizado para fermentar y envejecer vino. Actualmente varios productores de vino han vuelto a usar métodos tradicionales de elaboración para generar atributos únicos que diferencian sus productos y aumenten la tipicidad del vino. Esta investigación tuvo como objetivo estudiar la composición volátil de los vinos Carignan vinificados en estanques de acero inoxidable y añejados en tinajas de guarda de arcilla de Pañul, y vinificados y añejados en tinajas de arcilla de Pañul. Se demostró que el contenido de 1-hexanol, de 2,3-butanodiol, y de  $\alpha$ -terpinol fue mayor en los vinos vinificados en estanques de acero inoxidable y añejados en tinajas de guarda de arcilla de Pañul, mientras que el contenido de 1-heptanol, de ácido butanoico, de ácido hexanoico y de  $\beta$ -damascenona fue mayor en los vinos vinificados y añejados en tinajas de arcilla de Pañul. Los vinos Carignan añejados en tinajas de arcilla de Pañul presentaron atributos aromáticos tales como floral, frutal, cítrico, almendra, manzana verde, frutilla y anís, de acuerdo a su valor de actividad odorante. Tales resultados pueden ser de interés para los productores de cerámica y de vino, pues abren un abanico de oportunidades económicas al diversificar sus productos.

**Palabras clave:** arcilla, crianza, tinaja, vasijas, vino.

#### Abstract

Clay vessels have been used since several times to vinification and aging wines. Currently, wine producers have returned to use traditional production methods to provide differentiate attributes and increase the wine typicity. The goal of this research was to study the volatile compounds of Carignan wines a) vinified in stainless steel tanks and aged in Pañul's pottery vessels, and b) vinified and aging in Pañul's pottery vessels. The results showed that the content of 1-hexanol, 2,3-butanediol, and  $\alpha$ -terpinol was higher in wines vinified in stainless steel tanks and ageing in Pañul's pottery vessels, while the content of 1-heptanol, butanoic acid, hexanoic acid and  $\beta$ -damascenone was higher in wines vinified and aged in Pañul's pottery vessels. Carignan wines aged in Pañul's pottery vessels presented aromatic attributes such as floral, fruity, citrus, almond, green apple,

---

<sup>1</sup> María Esperanza Egaña-Juricic: Universidad Mayor, Santiago, Chile, ORCID 0000-0002-2471-6164, maria.eganaj@mayor.cl; Gastón Gutiérrez-Gamboa: Universidad Mayor e Instituto de Investigaciones Agropecuarias INIA, Temuco, Chile, ORCID 0000-0003-3207-850X, gaston.gutierrez@umayor.cl; Yerko Moreno-Simunovic: Universidad de Talca, Talca, Chile, ORCID 0000-0002-0330-4697, ymoreno@utalca.cl

strawberry, and anise according to their odorant activity value. These results may be of interest to ceramic and wine producers, as they open a range of economic opportunities by diversifying their products.

**Keywords:** aging, clay, pottery, vessels, wine.

RECIBIDO: 23/09/2022 ACEPTADO: 26/12/2023 PUBLICADO 22/09/2023

## Introducción

Las arcillas han formado parte de la existencia humana desde la antigüedad y han sido utilizadas para usos industriales y comerciales a lo largo de la historia (Yuan, 2004). La vinificación en tinajas de barro es uno de los métodos de producción de vino más antiguos (McGovern *et al.*, 2017). La presencia de ácido tartárico y de ácido síringico en depósitos de cerámicas en las riveras del mar negro, ha permitido a los arqueólogos situar el origen de las tinajas hacia principios del periodo neolítico, alrededor del año 6.000 a.C., misma data de procedencia de la viticultura, de manera que los orígenes de las tinajas estaría íntimamente vinculada con la viticultura (Rojas Aguilera, 2013).

A mediados del siglo XVI los primeros conquistadores españoles establecieron la costumbre de almacenar los vinos en recipientes de barro cocido y comenzaron a ser utilizados con gran éxito en Chile debido a la disponibilidad de materiales autóctonos y, probablemente, a las tradicionales habilidades de las culturas locales con respecto a la cerámica (Lacoste, 2006). Ya en el siglo XVII existían centros donde se manufacturaban las tinajas, ubicados en las cercanías de las canteras de greda, principalmente en los valles transversales de las regiones de Atacama y Coquimbo, como en los valles centrales de Aconcagua, Maipo y el secano del Maule y el Biobío (Rojas Aguilera, 2013). Durante el siglo XVIII Chile se había convertido en el principal productor de vinos del Nuevo Continente, por lo que el desarrollo del mercado vitivinícola necesitaba un constante abastecimiento de recipientes para la fermentación, transporte y almacenamiento (Rojas Aguilera, 2013). Pero a partir de la segunda mitad del siglo XVIII, las tinajas fueron sustituidas por la tonelería, debido a que la madera, al ser un material más liviano y resistente, permitía mejorar las condiciones de transporte (Lacoste, 2006) y la calidad del vino, dado que para impedir la filtración, las tinajas eran cubiertas en su interior con brea o resina, que comunicaba su sabor al vino durante el proceso de fermentación y de guarda (Couyoumdjian, 2006). En la actualidad, algunos productores de vino han vuelto a usar métodos tradicionales de vinificación, para diferenciar sus productos (Díaz *et al.*, 2013).

Las tinajas tienen bajas capacidades de almacenamiento, lo que permite a los enólogos producir vinos únicos utilizando pequeños lotes de uvas de alta calidad como materia prima (Martins *et al.*, 2018). En este sentido, los recipientes de arcilla contienen materiales porosos en toda su estructura permitiendo que el oxígeno penetre hacia el vino, cuyo resultado es una oxigenación lenta, similar a la que se produce cuando se utilizan barricas de roble para hacer vino pero sin la transferencia de taninos y aromas tostados que ocultan los aromas primarios característicos de cada variedad de uva (Martins *et al.*, 2018). Se ha demostrado que las fermentaciones no oxigenadas proporcionan vinos con mayor concentración de compuestos volátiles azufrados y menor concentración

de compuestos volátiles fermentativos (Bekker *et al.*, 2016). Durante la fermentación, el oxígeno afecta a la formación de compuestos volátiles, principalmente de ésteres, alcoholes superiores, ácidos grasos, aldehídos y cetonas (Tarko *et al.*, 2020). Asimismo, la oxigenación del mosto aumenta la concentración de ésteres de etilo y acetato, lo que resulta en la intensificación del aroma afrutado (Tarko *et al.*, 2020). Hasta donde se sabe, existe poca información científica respecto al impacto de las tinajas sobre la dinámica de fermentación y la composición volátil del vino y mucho menos acerca de tinajas fabricadas con arcillas que poseen identidad territorial, como las provenientes de Pañul. En un estudio preliminar, Egaña-Juricic *et al.* (2022) demostraron que la temperatura del mosto y del orujo fue menor en tinajas elaboradas con arcilla de Pañul comparado a estanques de acero inoxidable, sugiriendo que la arcilla pueden proporcionar propiedades de regulación térmica que benefician la fermentación del vino. Sin embargo, a la fecha, no existen estudios que evalúen el efecto de las tinajas de guarda en la composición volátil de vinos tintos. Por tanto, el objetivo de este trabajo fue estudiar la la composición volátil de vinos Carignan vinificados en tinajas de arcilla de Pañul (cerámica con Denominación de Origen) y en estanques de acero inoxidable, y que posteriormente fueron guardados en tinajas de arcilla de Pañul.

## **Materiales y métodos**

### ***Caracterización de las tinajas elaboradas con arcilla de Pañul***

Las descripción y caracterización de las tinajas de arcilla de Pañul ha sido previamente expuesta por Egaña-Juricic *et al.* (2020). Brevemente, las tinajas de arcilla de Pañul fueron elaboradas a mano por un artesano local con arcilla plástica proveniente de un yacimiento cuya edad de mineralización pertenece al Neógeno (Gajardo y Gutiérrez, 1992; López *et al.*, 2004). El yacimiento se encuentra en la localidad de Pañul, Pichilemu, Región de O'Higgins (34°49' LS; 71,96' LO, 140 metros sobre el nivel del mar). Las arcillas seleccionadas se encuentran bajo la Denominación de Origen alfarera de Pañul, las cuales tienen propiedades plásticas y refractarias que las hacen ideales para su uso industrial por su alta resistencia (Carrasco *et al.*, 2003; Jórdan y Pardo, 2016; Lacoste, 2017). Las tinajas de Pañul se elaboran a partir de tres arcillas diferentes, obtenidas de la Cordillera de la Costa y combinadas entre sí mediante una técnica propia (Lacoste, 2017). La cerámica Pañul se distingue por su color beige damasco, con una superficie bruñida que proporciona una textura suave (Such y Borjas, 2019). Las cerámicas también son monocromáticas, lisas y sin decoración, como se muestra en Figura 1. La fracción de arcilla de las tinajas estaba compuesta por caolinita, cuarzo, illita, montmorillonita, vermiculita y feldespato potásico en una mezcla equilibrada. La fracción de caolín correspondía a una combinación de cuarzo, ortoclasa, hematita, caolinita, illita y moscovita (Lacoste, 2017).

**Figura 1.** Tinajas de Pañul usadas para la guarda del vino  
*Figure 1. Pañul's pottery vessels used for wine aging*



Fuente: elaboración propia. Source: own elaboration.

### ***Fabricación de las tinajas de Pañul***

El proceso de fabricación de tinajas de Pañul ha sido mencionado en un reporte previamente publicado por Egaña-Juricic *et al.* (2022). Brevemente, las tinajas de vinificación y de guarda usadas en el presente ensayo fueron elaboradas a mano por un artesano local y la elaboración de cada una de ellas duró cerca de seis meses. Las arcillas provenientes del yacimiento se almacenaron en un lugar abierto para su recolección. Luego, se tomó una porción de arcillas para la elaboración de las tinajas, y se mojó para preparar una pasta. La preparación de la pasta se llevó a cabo a partir de una previa clasificación del tamaño de la arcilla y del caolín por medio de tamices, utilizando una máquina artesanal de llenado de barrena. La pasta obtenida se transportó en una carretilla para ser moldeada. El moldeo se realizó principalmente por colada en moldes de yeso. Las tinajas obtenidas se secaron en un lugar abierto durante dos a cuatro meses, lo que dependió de las condiciones climáticas de la temporada. Para conseguir un buen acabado de la cerámica, se realizó un abundante lijado, que permite definir su carácter desde el punto de vista estético. El proceso de pulido proporcionó la suavidad y resistencia de la superficie que terminó con el cierre de los poros de la pasta, reduciendo su absorción y aumentando su resistencia en general. El moldeo fue realizado por dos personas, y tuvo lugar entre 25 y 40 días. La cocción se realizó en hornos de leña construidos por el propio artesano a 700-1.000 °C durante diez días, utilizando pino como combustible.



### **Sitio descripción del experimento**

El ensayo se realizó en las instalaciones de la Universidad de Talca, campus Colchagua (34° 38'S, 71°21'O, 179 metros sobre el nivel del mar; Santa Cruz, Región de O'Higgins, Chile) en la temporada 2015. Se seleccionaron uvas de la variedad Carignan (*Vitis vinifera* L.) para vinificar debido a su alto potencial enológico para el envejecimiento del vino, en términos de pH y composición fenólica (Gutiérrez-Gamboa *et al.*, 2018). El viñedo Carignan seleccionado se encontraba en La Patagua, Santa Cruz, Chile y las uvas fueron proporcionadas por pequeños viticultores pertenecientes a la Red del Vino Colchagua (Santa Cruz, Región de O'Higgins, Chile). Se recogieron semanalmente muestras de bayas, desde tamaño guisante para controlar la madurez tecnológica de la uva y definir la fecha de vendimia. Las uvas se cosecharon cuando el contenido de sólidos solubles alcanzó cerca de 24,0 °Brix, la acidez titulable se mantuvo aproximadamente en 4,0 g L<sup>-1</sup> (ácido sulfúrico) y el pH alcanzó valores entre 3,4 y 3,5.

### **Vinificación y guarda**

Las uvas se despalillaron y trituraron para obtener el mosto inmediatamente después a la cosecha. El mosto se protegió añadiendo 50 mg kg<sup>-1</sup> de SO<sub>2</sub> (dióxido de azufre). Las tinajas se llenaron con una solución de agua con ácido tartárico (3% v/v) durante al menos 24 horas previo a su utilización. El mosto obtenido se pesó y se introdujo en tres estanques de acero inoxidable (control) y en tres tinajas de arcilla de Pañul, contabilizando tres réplicas para el tratamiento y el control. Los estanques de acero inoxidable consistían en tanques cilíndricos con tapa flotante que permitían el almacenamiento del vino. Los tratamientos se definieron como sigue: (a) depósito de acero inoxidable: el mosto se vinificó en tres estanques de acero inoxidable y posteriormente se almacenaron en tres tinajas de guarda de arcillas de Pañul (Figura 2b), y (b) tinajas de arcilla de Pañul: el mosto se vinificó en tres tinajas de vinificación de arcilla de Pañul (Figura 2a) y posteriormente se almacenaron en tres tinajas de guarda de arcillas de Pañul. Los seis depósitos de vinificación se llenaron aproximadamente con 250 kg de mosto cada uno. Los tratamientos se hicieron por triplicado y se distribuyeron como un diseño completo aleatorio en la bodega.

El mosto se coinoculó con la cepa comercial de levadura *Saccharomyces cerevisiae* BO 213 (Laffort, Bordeaux Cedex, Francia) y con la cepa comercial de la bacteria *Oenococcus oeni* (B28 PreAc, Laffort, España) para realizar la fermentación alcohólica-maloláctica, que tuvo lugar a temperatura ambiente. La fermentación alcohólica-maloláctica se consideró terminada cuando el mosto fermentado alcanzó menos de 2,5 g L<sup>-1</sup> de azúcar residual y menos de 100 mg L<sup>-1</sup> de ácido málico. La fermentación maloláctica terminó una semana después que la fermentación alcohólica en todos los estanques. Posteriormente, tras diez días de maceración-fermentación, se retiraron manualmente los hollejos y las pepitas para un prensado manual del vino.

Los vinos de cada una de las repeticiones se llevaron a tinajas de guarda de arcilla de Pañul. Previo a esto, y para evitar que el vino permee por los poros de la tinaja, se aplicó una solución de ácido tartárico al 3% (v/v) en las paredes internas de la tinaja con un pulverizador durante tres días seguidos hasta sequedad. La guarda de los vinos duró 70 días desde que fueron trasladados a las nuevas tinajas, en donde la temperatura no varió

de los 15°C. Durante la guarda, y para evitar la oxidación e inestabilidad microbiológica de los vinos, se realizaron llenados de forma continua, a una tasa de 0,8 L día<sup>-1</sup> debido a la evaporación natural que se produce en el vino.

**Figura 2.** (a) Tinajas de arcilla de Pañul utilizadas para la vinificación en este ensayo. (b)

Tinajas de arcilla de Pañul utilizadas para la crianza del vino en este ensayo

*Figure 2. (a) Pañul's pottery vessels used for vinification in this trial. (b) Pañul's pottery vessels used for aging in this trial*



Fuente/source: Egaña-Juricic *et al.* (2022).

### ***Análisis de los compuestos volátiles de los vinos***

Los vinos fueron sometidos a análisis de compuestos volátiles tras los 70 días de guarda en las tinajas de arcillas de Pañul. Los compuestos volátiles de los vinos se analizaron según la metodología publicada por López *et al.* (2002) con algunas modificaciones menores publicadas por Gutiérrez-Gamboa *et al.* (2018) y Carrasco-Quiroz *et al.* (2020). Para la extracción de los compuestos volátiles se utilizaron cartuchos preenvasados (volumen total de 3 mL) rellenos con 200 mg de resina LiChrolut EN (Merck, Darmstadt, Alemania). Antes de hacer pasar el vino por el cartucho, se añadieron 500 µL de patrón interno (2-octanol). La separación, identificación y cuantificación de los compuestos volátiles del vino se realizó con un cromatógrafo de gases Agilent 7890A, acoplado a un espectrómetro de masas 5975C (Agilent Technologies Inc., Santa Clara, CA, Estados Unidos). La unidad estaba equipada con una columna capilar de sílice fundida (30 m × 0,25 mm de diámetro interior y 0,5 µm de espesor de fase, DB Wax, J & W Scientific, Agilent). Se utilizó helio como gas portador (99,9% de pureza) a una velocidad de flujo de 1 mL min<sup>-1</sup>. La temperatura del inyector fue de 250 °C y se inyectaron 2 µL de extracto de vino. La temperatura del horno se mantuvo inicialmente a 40 °C durante 5 min, luego se incrementó linealmente a una tasa de 2 °C min<sup>-1</sup> hasta 130 °C y se

mantuvo a esa temperatura durante 5 min; después, la temperatura se incrementó de nuevo a una tasa de 2 °C min<sup>-1</sup> hasta 180 °C y se mantuvo a esa temperatura durante 2 min; finalmente, la temperatura se incrementó linealmente a una tasa de 4 °C min<sup>-1</sup> hasta 230 min.

El análisis de cada vino se realizó mediante dos inyecciones: en modo split (50:1) para los alcoholes isoamílicos, alcohol bencílico, 2-feniletanol, 1-hexanol, hexanoato de etilo y octanoato de etilo; y en modo splitless (60 min) para el resto de los compuestos volátiles analizados. La ionización se realizó por impacto de electrones a 70eV. El método operativo fue el modo de barrido completo a m/z entre 30 y 300. La identificación se llevó a cabo utilizando la biblioteca NIST (NIST 08 Software Update). Cuando se disponía de estándares, la cuantificación de cada compuesto volátil se realizó en base a curvas de calibración compuesta de siete puntos (Sigma-Aldrich, Steinheim, Alemania) ( $R^2 > 0,93$ ). La recta de calibrados se elaboró a partir del resultado del análisis de cada estándar, el que se preparó a concentraciones crecientes en una solución de vino base que contenía etanol al 12% (v/v) con 6 g L<sup>-1</sup> de ácido tartárico a pH 3,2. En caso contrario, se realizaron análisis semicuantitativos utilizando las curvas de calibración del compuesto más similar (Egaña-Juricic *et al.*, 2022).

La contribución de los compuestos volátiles al aroma del vino se evaluó mediante el valor de actividad odorante (VAO) y se calculó como la relación entre la concentración del compuesto individual y el umbral de percepción encontrado en la literatura (Cai *et al.*, 2014; Gutiérrez-Gamboa *et al.*, 2018; Egaña-Juricic *et al.*, 2022).

### **Análisis estadístico**

El análisis estadístico en relación a los compuestos volátiles del vino se realizó mediante un análisis de varianza (ANOVA de una vía) con el *software* Statgraphics Centurion XVI.I (Statgraphics Technologies, Inc., Virginia, Estados Unidos). Las diferencias entre las muestras se compararon mediante la prueba de Duncan con un nivel de probabilidad del 95%. Para cada parámetro, letras distintas en las barras de gráficos o en la misma fila, indican diferencias significativas entre las muestras. Los tratamientos se realizaron por triplicado, por lo que los resultados sobre los compuestos volátiles del vino se mostraron como la media entre tres réplicas (n = 3).

## **Resultados**

### ***Contenido de compuestos volátiles de vinos Carignan (a) vinificados en estanques de acero inoxidable y añejados en tinajas de guarda de arcilla de Pañul y (b) vinificados y añejados en tinajas de arcilla de Pañul***

La Tabla 1 muestra el contenido de compuestos volátiles de vinos Carignan que fueron (a) vinificados en estanques de acero inoxidable y añejados en tinajas de guarda de arcilla de Pañul y (b) vinificados y añejados en tinajas de arcilla de Pañul. El contenido de 1-hexanol, 2,3-butanodiol, y  $\alpha$ -terpinol fue mayor en los vinos vinificados en estanques de acero inoxidable y añejados en tinajas de guarda de arcilla de Pañul, mientras que el contenido de 1-heptanol, ácido butanoico, ácido hexanoico y  $\beta$ -damascenona fue mayor en los vinos vinificados y añejados en tinajas de arcilla de Pañul.

**Tabla 1.** Contenido (mg L<sup>-1</sup>) de compuestos volátiles de vinos Carignan que fueron (a) vinificados en estanques de acero inoxidable y añejados en tinajas de guarda de arcilla de Pañul y (b) vinificados y añejados en tinajas de arcilla de Pañul

*Table 1. Content of volatile compounds of Carignan wines (a) vinified in stainless steel tanks and aged in Pañul's pottery vessels and (b) vinified and aging in Pañul's pottery vessels*

	<b>Vinificación en estanques de acero inoxidable y guarda en tinaja de Pañul</b>	<b>Vinificación y guarda en tinaja de Pañul</b>
<b>Alcoholes</b>		
2-Metil-1-butanol (mg L <sup>-1</sup> )	71,46±11,48 a	51,87±12,87 a
3-Metil-1-butanol (mg L <sup>-1</sup> )	193,32±31,22 a	141,90±33,41 a
Alcohol fenilético (mg L <sup>-1</sup> )	229,47±21,63 a	257,76±60,11 a
Isobutanol (mg L <sup>-1</sup> )	35,32±7,57 a	28,15±3,47 a
1-Propanol (mg L <sup>-1</sup> )	5,95±0,86 a	5,38±0,44 a
Metionol (mg L <sup>-1</sup> )	2,86±0,33 a	3,23±0,12 a
1-Hexanol (mg L <sup>-1</sup> )	2,66±0,15 b	1,97±0,33 a
1-Butanol (mg L <sup>-1</sup> )	1,63±0,12 a	1,56±0,16 a
2,3-Butanodiol	1413,71±59,02 b	1179,50±71,32 a
Alcohol bencílico	327,60±13,14 a	429,21±96,22 a
3-Metil-3-buten-1-ol	230,42±7,70 a	242,85±15,20 a
1-Pentanol	414,13±39,31 a	480,69±58,39 a
4-Metil-1-pentanol	269,66±20,01 a	265,11±22,40 a
3-Metil-1-pentanol	338,76±17,98 a	491,79±87,97 a
3-Etoxi-1-propanol	510,59±25,69 a	442,25±34,92 a
<i>trans</i> -3-Hexen-1-ol	76,92±5,94 a	69,88±5,86 a
<i>cis</i> -3-Hexen-1-ol	99,05±4,62 a	97,53±16,60 a
1-Heptanol	31,52±0,52 a	33,73±0,55 b
<b>Ésteres</b>		
Acetato de feniletilo	81,51±2,97 a	83,31±0,57 a
Acetato de isoamilo	65,95±14,58 a	98,89±17,94 a
Succinato de dietilo	3985,85±497,49 a	4350,91±1530,89 a
Hexanoato de etilo	269,86±54,93 a	211,54±29,57 a
Lactato de etilo	2423,12±120,21 a	1824,90±394,44 a
Ácidos grasos volátiles		
Ácido butanoico	584,19±22,10 a	658,47±17,94 b
Ácido hexanoico	2432,71±91,66 a	2798,78±8,69 b
Ácido octanoico	1076,61±9,18 a	1201,79±103,34 a



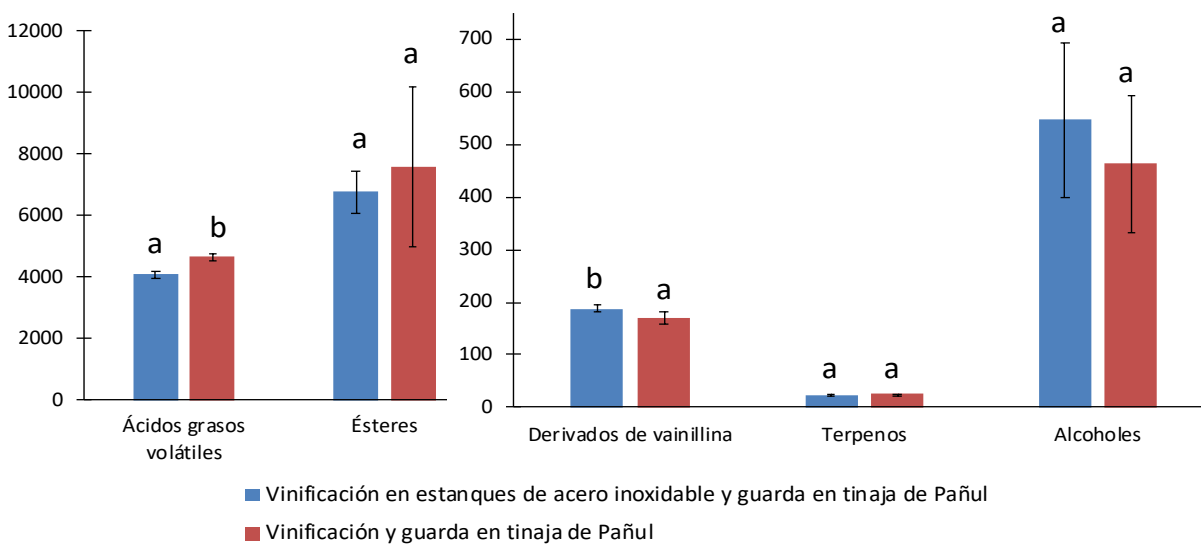
<b>Derivados de la vainillina</b>		
Vainillina	34,19±0,77 a	32,72±1,46 a
Vanillato de metilo	48,59±0,50 a	43,37±3,60 a
Vanillato de etilo	52,26±5,07 a	45,37±3,48 a
Acetovainillina	52,28±0,05 a	47,55±3,03 a
<b>Terpenos y norisoprenoides C<sub>13</sub></b>		
β-damascenona	4,32±0,33 a	5,01±0,09 b
α-terpinol	4,84±0,01 b	4,55±0,10 a
Linanool	8,36±0,93 a	9,58±0,72 a
β-Citronelol	5,81±0,16 a	6,02±0,25 a

Fuente: elaboración propia. Source: own elaboration.

La Figura 3 muestra el contenido total de compuestos volátiles de vinos Carignan que fueron (a) vinificados en estanques de acero inoxidable y añejados en tinajas de guarda de arcilla de Pañul y (b) vinificados y añejados en tinajas de arcilla de Pañul. El contenido total de ácidos grasos volátiles fue mayor en los vinos vinificados y añejados en tinajas de arcilla de Pañul, mientras que el contenido de derivados de vainillina fue mayor en los vinos vinificados en estanques de acero inoxidable y añejados en tinajas de guarda de arcilla de Pañul.

**Figura 3.** Contenido total de compuestos volátiles de vinos Carignan que fueron (a) vinificados en estanques de acero inoxidable y añejados en tinajas de guarda de arcilla de Pañul y (b) vinificados y añejados en tinajas de arcilla de Pañul

Figure 3. Total content of volatile compounds in Carignan wines (a) vinified in stainless steel tanks and aged in Pañul's pottery vessels and (b) vinified and aging in Pañul's pottery vessels



El contenido total de alcoholes fue expresado en mg L<sup>-1</sup>, mientras que los demás compuestos totales fueron expresados en µg L<sup>-1</sup>. Total alcohol content was expressed in mg L<sup>-1</sup>, while the rest of total compounds were expressed in µg L<sup>-1</sup>. Fuente: elaboración propia. Source: own elaboration.

### Valor de actividad odorante (VAO) de los compuestos volátiles de los vinos Carignan

Tabla 2 muestra el valor de actividad odorante (VAO) de los compuestos volátiles analizados en los vinos Carignan que fueron (a) vinificados en estanques de acero inoxidable y añejados en tinajas de guarda de arcilla de Pañul y (b) vinificados y añejados en tinajas de arcilla de Pañul. La  $\beta$ -damascenona (floral), el alcohol bencílico (almendra, cítrico), y el hexanoato de etilo (manzana verde, frutilla frutal, anís) fueron los compuestos volátiles que alcanzaron un mayor VAO. Por otro lado, los dos primeros, alcanzaron un mayor VAO en los vinos vinificados y añejados en tinajas de Pañul.

**Tabla 2.** Valor de actividad odorante (VAO) y descripción aromática de los compuestos volátiles de vinos Carignan que fueron (a) vinificados en estanques de acero inoxidable y añejados en tinajas de guarda de arcilla de Pañul y (b) vinificados y añejados en tinajas de arcilla de Pañul

*Table 2. Odor activity value (OAV) and aromatic description of volatile compounds of Carignan wines (a) vinified in stainless steel tanks and aged in Pañul's pottery vessels and (b) vinified and aging in Pañul's pottery vessels*

	Vinificación en inox y guarda en Pañul	Vinificación y guarda en tinaja de Pañul	Descriptor aromático
<b>Alcoholes</b>			
2-Metil-1-butanol	2.38	1.43	Alcohol, quemado
3-Metil-1-butanol	6.44	3.94	Alcohol, quemado
Alcohol bencílico	22.95	25.78	Almendra, cítrico
Alcohol feniletílico	0.88	0.70	Rosas
1-Hexanol	7.17	6.48	Herbáceo, hierba cortada, madera
1-Propanol	5.72	6.47	Alcohol, frutal madura
1-Butanol	0.33	0.25	Medicinal, alcohol
3-Metil-3-buten-1-ol	0.01	0.01	Frutas dulces
1-Pentanol	0.01	0.01	Almendra, balsámico, alcohol
4-Metil-1-pentanol	0.00	0.00	Almendra, tostado
3-Metil-1-pentanol	0.38	0.4	Tierra, champiñón, herbáceo, cacao
3-Etoxi-1-propanol	0.01	0.01	Frutal
Metionol	0.01	0.01	Ajo, papa cruda, vegetales cocidos
Isobutanol	0.68	0.86	Herbáceo, manteca, clavo de olor
2,3-Butanodiol	5.11	4.42	Frutal, mantequilla
trans-3-Hexen-1-ol	0.19	0.17	Herbáceo, hierba cortada, ciprés
cis-3-Hexen-1-ol	0.25	0.24	Herbáceo, hierba cortada
1-Heptanol	0.13	0.13	Aceite
<b>Esters</b>			

Acetato de feniletilo	0.33	0.33	Rosas, floral
Acetato de isoamilo	2.20	3.30	Plátano, frutal
Succinato de dietilo	0.02	0.03	Vinoso
Hexanoato de etilo	19.28	15.11	Manzana verde, frutal, frutilla, anís
Lactato de etilo	0.05	0.04	Láctico, medicinal
<b>Ácidos grasos volátiles</b>			
Ácido butanoico	3.38	3.81	Queso, rancio, graso
Ácido hexanoico	5.79	6.66	Queso, rancio, graso
Ácido octanoico	2.15	2.40	Queso, rancio
<b>Derivados de la vainillina</b>			
Vainillina	0.57	0.55	Vainilla
Vanillato de metilo	0.02	0.01	Vainilla
Vanillato de etilo	0.05	0.05	Pólen, floral
Acetovainillina	0.05	0.05	Floral, clavo de aroma, vainilla
<b>Terpenos y norisoprenoides C13</b>			
b-damascenona	86.32	100.15	Flores exóticas, dulce,
α-terpinol	0.02	0.02	Lila, floral, dulce
Linanool	0.56	0.64	Floral y frutal
b-citronelol	0.06	0.06	Herbáceo, limón y especias

Fuente: la descripción aromática fue obtenida a partir de Cai *et al.* (2014), Gutiérrez-Gamboa *et al.* (2018) y Egaña-Juricic *et al.* (2022). Source: aromatic description was obtained from Cai *et al.* (2014), Gutiérrez-Gamboa *et al.* (2018) and Egaña-Juricic *et al.* (2022).

## Discusión

Se ha descubierto que la fermentación alcohólica y posterior maduración en los recipientes de arcilla influyen significativamente en la composición química del vino y en su perfil aromático (Egaña-Juricic *et al.*, 2022). Su forma ovoide y sin ángulos permite que el vino esté en una constante circulación en sentido espiral, en consecuencia, esto implica que las levaduras permanezcan en constante movimiento, lo que supone una mayor extracción, de modo que hay un significativo aporte de manoproteínas, capaces de retener y absorber compuestos volátiles responsables de defectos aromáticos en el vino (Martínez-Lapuente *et al.*, 2018). Es posible que este efecto haya influido en un mayor contenido de ácidos grasos volátiles cuando los vinos fueron vinificados y añejados en tinajas (Tabla 1). Asimismo, se ha demostrado la capacidad de las paredes celulares de las levaduras para interactuar con terpenos glicosilados, que protegen los aromas varietales del vino; por consecuencia, se incrementa la estabilidad y persistencia de los aromas (Martínez-Lapuente *et al.*, 2018). En este sentido, próximos estudios deben realizarse considerando diversos momentos de análisis a lo largo de distintas añadas para concluir el efecto de la tinaja en una guarda más longeva del vino.

Por otra parte, existen varios estudios que demuestran el importante papel del oxígeno en los diversos procesos fisicoquímicos que ocurren durante la fermentación y el envejecimiento de los vinos (Bekker *et al.*, 2016). Esto debido a que la arcilla tiene la característica de ser un material altamente poroso que permite la microoxigenación del vino, provocando una difusión lenta y constante de oxígeno desde el exterior, disminuyendo así los caracteres herbáceos e incrementando las notas afrutadas del vino, dado que se produce una reducción de pirazinas y tioles por oxidación (Bekker *et al.*, 2016). La microoxigenación contribuye, además, a eliminar aromas de reducción, atribuidos a los compuestos volátiles azufrados, pues durante la fermentación el oxígeno aumenta el potencial redox y mejora la viabilidad de las levaduras, limitando así el impacto de los compuestos azufrados (Bekker *et al.*, 2016).

En este sentido, en un estudio preliminar, Egaña-Juricic *et al.* (2022) demostró que los vinos fermentados en tinajas de arcilla de Pañul presentaron un menor contenido de propanol, de 1-butanol, de 3-hexen-1-ol isómero 1, de 1-propanol, 3-etoxi-, de metionol, de alcohol bencílico, de alcohol homovanílico, de isoamilacetato, de hexanoato de etilo, de ácido hexanoico, de butirolactona y de 2-butanona, 3-hidroxi- que los vinos fermentados en estanques de acero inoxidable. Por otro lado, estos autores demostraron que las tinajas de arcilla de Pañul produjeron vinos con mayor contenido de terpenos, C<sub>13</sub> norisoprenoides y alcohol 2-feniletílico que los estanques de acero inoxidable. De forma similar a estos hallazgos, Gil i Cortiella *et al.* (2021) mostraron que los vinos fermentados en tinajas de arcilla presentaban un menor contenido de acetato de isoamilo que los vinos fermentados en estanques de acero inoxidable. Sin embargo, de acuerdo a los resultados expuestos en esta publicación, la guarda en tinajas de arcilla de Pañul de vinos fermentados en estanques de acero inoxidable produce vinos de similares características que los vinificados en tinajas de arcilla de Pañul. Es decir, las diferencias expuestas por Egaña-Juricic *et al.* (2022) en su estudio preliminar son atenuadas una vez que los vinos se guardan en tinajas de arcilla de Pañul.

### **Consideraciones técnicas**

Desde el punto de vista técnico, la tinaja de vinificación no resultó ser cómoda y era necesario más de una persona para poder limpiarla y moverla (Figura 2a). En este sentido, en estudios posteriores, se elaboró una tinaja de vinificación similar a la tinaja de guarda, pero con una mayor apertura en su superficie (Figura 2b), resultando en una mejor maniobrabilidad. A diferencia de la anterior, esta tinaja es de fácil limpieza y se puede incluso dejar en remojo por unos días con soda cáustica para desincrustar más la suciedad que puede quedar en las paredes de la tinaja. La temperatura interior de la tinaja se mantuvo fría, a 15 °C, lo que favorece el almacenamiento del vino, ya que el anhídrido sulfuroso se combina menos. Es importante destacar que para el uso de una tinaja se debe aplicar una solución de ácido tartárico al 3% en las paredes internas de la tinaja, para evitar que el vino permee por los poros. Las tinajas se llenaron de vino. Por otro lado, las tinajas deben ser rellenadas cada cierto tiempo para evitar el picado y/o la oxidación del vino.



## Conclusiones

En base a los datos mostrados, se demostró que el contenido de 1-hexanol, 2,3-butanodiol, y  $\alpha$ -terpinol fue mayor en los vinos vinificados en estanques de acero inoxidable y añejados en tinajas de guarda de arcilla de Pañul, mientras que el contenido de 1-heptanol, ácido butanoico, ácido hexanoico y  $\beta$ -damascenona fue mayor en los vinos vinificados y añejados en tinajas de arcilla de Pañul. Los vinos Carignan añejados en tinajas de arcilla de Pañul presentaron atributos aromáticos tales como floral, frutal, cítrico, almendra, manzana verde, frutilla y anís de acuerdo al valor de actividad odorante de la  $\beta$ -damascenona, el alcohol bencílico, y el hexanoato de etilo. Tales resultados pueden interesar a los productores de cerámica y de vino, pues abren un abanico de oportunidades económicas al diversificar sus productos en el competitivo mercado actual.

## Agradecimientos

Nuestro trabajo fue financiado por el proyecto “Evaluación de un prototipo de vasijas de vinificación y guarda fabricadas con arcillas de Pañul, para pequeños productores vitivinícolas del Valle de Colchagua”, otorgado por el Fondo de Innovación a la Competitividad (FIC) de la Región de O’Higgins N°30343823-0. Deseamos agradecer a la Red del Vino Colchagua, a Luis Orellana, a Macarena Berrocal, a Ana Martínez Gil, a Carolina Parraguez y Alejandra Leiva por su apoyo en el proyecto.

## Bibliografía

- Bekker, M.Z.; Day, M.P.; Holt, H.; Wilkes, E. y Smith, P.A. (2016). “Effect of Oxygen Exposure During Fermentation on Volatile Sulfur Compounds in Shiraz Wine and a Comparison of Strategies for Remediation of Reductive Character”. *Australian Journal of Grape and Wine Research* 22: 24-35. DOI <https://doi.org/10.1111/ajgw.12172>
- Cai, J.; Zhu, B.Q.; Wang, Y.H.; Lu, L.; Lan, Y.B.; Reeves, M.J. y Duan, C.Q. (2014). “Influence of Pre-fermentation Cold Maceration Treatment on Aroma Compounds of Cabernet Sauvignon Wines Fermented in Different Industrial Scale Fermenters”. *Food Chemistry* 154: 217-229. DOI <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2014.01.003>
- Carrasco-Quiroz, M.; Martínez-Gil, A.M.; Gutiérrez-Gamboa, G. y Moreno-Simunovic, Y. (2020). “Effect of Rootstocks on Volatile Composition of Merlot Wines”. *Journal of the Science of Food and Agriculture* 100(8): 3517-3524.
- Carrasco, R.; Gajardo, A. y Mendoza, J. (2003). *Geología de yacimientos de arcillas plásticas para la elaboración de cerámica blanca y refractarios en las regiones VI y VII, Chile*. Concepción, Universidad de Concepción: 6-10.
- Couyoumdjian, J.R. (2006). “Vinos en Chile desde la independencia hasta el fin de la Belle Époque”. *Historia* 39(1): 23-64. DOI <https://doi.org/10.4067/s0717-71942006000100002>

- Díaz, C.; Laurie, V.F.; Molina, A.M.; Bücking, M. y Fischer, R. (2013). “Characterization of Selected Organic and Mineral Components of Qvevri Wines”. *American Journal of Enology and Viticulture* 64: 532-537. DOI <https://doi.org/10.5344/ajev.2013.13027>
- Egaña-Juricic, M.E.; Gutiérrez-Gamboa, G. y Moreno-Simunovic, Y. (2022). “Making Wine in Pañul’s Craft Pottery Vessels: A First Approach in the Study of the Dynamic of Alcoholic Fermentation and Wine Volatile Composition”. *Ciência e Técnica Vitivinícola* 37(1): 29-38. DOI <https://doi.org/10.1051/ctv/ctv20223701029>
- Gajardo, A. y Gutiérrez, A. (1992). *Exploración de recursos no metálicos en la VI Región*. Informe inédito. Coquimbo, Servicio Nacional de Geología y Minería.
- Gil i Cortiella, M.; Ubeda, C.; Covarrubias, J.I.; Laurie, V.F. y Peña-Neira, Á. (2021). “Chemical and Physical Implications of the Use of Alternative Vessels to Oak Barrels During the Production of White Wines”. *Molecules* 26: 554. DOI <https://doi.org/10.3390/molecules26030554>
- Gutiérrez-Gamboa, G.; Garde-Cerdán, T.; Carrasco-Quiroz, M.; Pérez-Álvarez, E.P.; Martínez-Gil, A.M.; del Alamo-Sanza, M. y Moreno-Simunovic, Y. (2018). “Volatile Composition of Carignan Noir Wines from Ungrafted and Grafted onto País (*Vitis vinifera* L.) Grapevines from Ten Wine-Growing Sites in Maule Valley, Chile”. *Journal of the Science of Food and Agriculture* 98(11): 4268-4278. DOI <https://doi.org/10.1002/jsfa.8949>
- Jórdan, M. y Pardo, F. (2016). *Aportación al estudio de las arcillas industriales en Chile*. Elche, Universitas Miguel Hernández.
- Lacoste, P. (Coord.). (2017). *Patrimonio y desarrollo territorial: Productos típicos alimentarios y artesanales de la Región de O’Higgins. Identidad, historia y potencial de desarrollo*. Santiago, Instituto de Estudios Avanzados.
- \_\_\_\_\_. (2006). “Instalaciones y equipamiento vitivinícola en el Reino de Chile. Vasijas, pipas, lagares (siglo XVIII)”. *Revista de Historia Social y de las Mentalidades* 10(1): 93-118.
- López, M.C.; Gajardo, A. y Carrasco, R. (2004). *Yacimientos de rocas y minerales industriales de la VI Región del Libertador General Bernardo O’Higgins*. Santiago, Servicio Nacional de Geología y Minería.
- López, R.; Aznar, M.; Cacho, J. y Ferreira, V. (2002). “Determination of Minor and Trace Volatile Compounds in Wine by Solid-Phase Extraction and Gas Chromatography with Mass Spectrometric Detection”. *Journal of Chromatography* 966(1-2): 167-177. DOI [https://doi.org/10.1016/s0021-9673\(02\)00696-9](https://doi.org/10.1016/s0021-9673(02)00696-9)
- Martins, N.; Garcia, R.; Mendes, D.; Costa Freitas, A.M.; da Silva, M.G. y Cabrita, M.J. (2018). “An Ancient Winemaking Technology: Exploring the Volatile Composition of Amphora Wines”. *LWT-Food Science and Technology* 96: 288-295. DOI <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2018.05.048>

- Martínez-Lapuente, L.; Suárez, E.; Guadalupe-Mínguez, Z. y Ayestarán-Iturbe, B. (2018). “Virutas de roble y manoproteínas: efecto en la composición fenólica y propiedades sensoriales del vino tinto”. *La Semana Vitivinícola* 352: 1524-1530.
- McGovern, P.; Jalabadze, M.; Batiuk, S.; Callahan, M.P.; Smith, K.E.; Hall, G.R.; Kvaavadze, E.; Maghradze, D.; Rusishvili, N.; Bouby, L.; Failla, O.; Cola, G.; Mariani, L.; Boaretto, E.; Bacilieri, R.; This, P.; Wales, N. y Lordkipanidze, D. (2017). “Early Neolithic Wine of Georgia in the South Caucasus”. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 114: E10309. DOI <https://doi.org/10.1073/pnas.1714728114>
- Rojas Aguilera, G. (2013). *Las tinajas y su lugar al interior del patrimonio vitivinícola de Chile*. Santiago, Biblioteca Nacional de Chile.
- Such, E.G. y Borjas, E.M. (2019). “Informe técnico para la solicitud de la Denominación de Origen (DO) Cerámica de Pañul”. En *4 Jornadas Nacionales de Investigación Cerámica. Tópicos Actuales de La Cerámica*. Pichilemu: 108.
- Tarko, T.; Duda Chodak A.; Sroka, P. y Siuta, M. (2020). “The Impact of Oxygen at Various Stages of Vinification on the Chemical Composition and the Antioxidant and Sensory Properties of White and Red Wines”. *International Journal of Food Science* 2020: 7902974. DOI <https://doi.org/10.1155/2020/7902974>
- Yuan, G. (2004). “Natural and Modified Nanomaterials as Sorbents of Environmental Contaminants”. *Journal of Environmental Science and Health, Part A: Toxic/Hazardous Substances and Environmental Engineering* 39: 2661-2670.  
DOI <https://doi.org/10.1081/ese-200027022>