

# ARTÍCULO

## VITIS VINIFERA TANNAT, EL RESULTADO DE UN TRABAJO DE INVESTIGACIÓN MULTIDISCIPLINARIO

Dr. Francisco Carrau, MSc. Karina Medina, Lic. Gabriel Pérez, Dra. Carina Gaggero, Q.F. Marianne Barquet, Lic. Maia Urruty, MSc. Edgardo Disegna, MSc. Andrés Coniberti, MSc. Virginia Ferrari, Lic. Valentina Martin, Ing. Carolina Canoura, MSc. Mariela Medina, Dra. Laura Fariña, Dr. Eduardo Boido, Dr. Eduardo Dellacassa



## Vitis vinifera Tannat, el resultado de un trabajo de investigación multidisciplinario

### Resumen

La calidad de la uva, y por tanto del vino, es el resultado de la interacción de numerosos factores que involucran aspectos biológicos (variedad, clon, portainjerto, estado sanitario), físicos (tipo de suelo y su manejo), climáticos (temperatura, pluviometría, luz) y culturales (densidad de plantación, conducción, poda, carga de fruta, manejo de la vegetación, fertilización). La conjunción y el manejo armónico de estos factores condicionarán las potencialidades de un viñedo y determinará la cantidad de fruta capaz de soportar la planta. Los viticultores uruguayos han buscado incidir en estos aspectos reemplazando las viejas plantas Tannat por nuevos clones comerciales de esta variedad.

Para intentar evaluar el impacto de esta decisión, nuestro grupo evaluó las relaciones genéticas entre los clones Tannat antiguos, presentes en Uruguay, y los clones comerciales franceses, introducidos recientemente. Los resultados demostraron que los clones analizados representan un pool genéticamente uniforme, donde se pueden discriminar dos grupos mediante marcadores moleculares y por la composición de componentes volátiles unidos a azúcares (glicósidos). Este aspecto es desafiante, ya que una de las características económicas más significativas de cultivar es el aroma que la uva puede impartirle al vino, ya que los constituyentes volátiles de la uva son responsables de los principales aromas del mosto y proveen las bases del carácter varietal.

La calidad de un vino también es consecuencia de los procesos de fermentación (alcohólica y maloláctica). La fermentación aumenta la complejidad aromática del vino, ayudando en la extracción de los sólidos del mosto, modificando compuestos derivados de la uva y produciendo una importante cantidad de compuestos aromáticos (alcoholes, ésteres, ácidos, aldehídos). Aunque estos compuestos pueden encontrarse en muchos vinos, el tipo de proceso ejecutado puede causar cambios importantes en sus concentraciones. Para el vino Tannat esto se evaluó estudiando el perfil aromático por análisis sensorial y por análisis químico, utilizando una separación cromatográfica con jueces capaces de percibir el aroma de los componentes separados (olfatometría).

Los vinos tintos Tannat también poseen contenidos elevados de taninos y un color intenso, características responsables de la originalidad de estos vinos. Las correlaciones entre las diferentes familias de pigmentos estudiados por técnicas separativas y espectroscópicas y parámetros que definen las notas de color (CIELAB), revelaron la importancia de las variaciones encontradas en antocianos, flavanol-antocianos y piranoantocianinas en el color y palatabilidad de estos vinos.

El enfoque presentado muestra la integración multidisciplinaria que define nuestro grupo, que busca aportar herramientas objetivas para aplicar el concepto genérico de “Enología de Mínima Intervención” a la producción de vinos Tannat.

**Palabras clave:** *Vitis vinifera* cv Tannat, enología, genética, metabolismo, vino

## Vitis vinifera Tannat, the result of a multidisciplinary research

### Abstract

The quality of the grapes, and thus the wine, is the result of the interaction of many factors involving biological (variety, clone, rootstock and sanitary status), physical (soil type and its management), climate (temperature, rainfall, light) and cultural (planting density, canopy management, ripening, fruit load, fertilization). The effect produced by the sum of these factors, and their control, will condition the potential of a vineyard determining the amount of fruit capable of supporting the plant. The Uruguayan winemakers have intended to influence on this situation for the *Vitis vinifera* cv Tannat, replacing the old plants by new commercially available clones of this variety. In order to assess the impact of this decision, our research group studied the genetic relationships among the old Tannat clones present in Uruguay, and the French commercial ones recently introduced. The results demonstrated that the clones evaluated represent a genetically uniform pool, where two groups can be discriminated using both molecular markers and the composition of glycosylated aroma compounds. This aspect has a particular relevance as the scent that the grape can impart to the wine represents one of the most significant economic characteristics of a cultivar. Secondary metabolites from grapes are responsible for the main must aromatic constituents providing the basis of the varietal character.

The wine quality is also a result of the fermentation processes (alcoholic and malolactic). The fermentations increase the wine aromatic complexity, assisting the removal of solids from the must and produce chemical modifications on those compounds derived from grapes producing a significant amount of metabolites (alcohols, esters, acids, aldehydes). Although these compounds can be found in many wines, the kind of process executed can cause major changes in their concentrations. These aspects were studied on Tannat wines studying their flavor profile using different approaches: descriptive sensory analysis, chemical analysis and gas chromatography-olfactometry.

Tannin contents and the intense color of Tannat red wines are also features responsible for the originality of these wines. The correlations between the different pigment families studied

by separation and spectroscopic tools and CIELAB parameters revealed the importance of the variations found in anthocyanins, flavanol-anthocyanins, pyranoanthocyanins fractions and the color and palatability of these wines.

The results above presented shows the multidisciplinary integration that defines our group, which seeks to provide objective tools to implement the generic concept of “Minimum Intervention Oenology” to produce Tannat wines.

**Keywords:** *Vitis vinifera* cv Tannat, enology, genetics, metabolism, wine

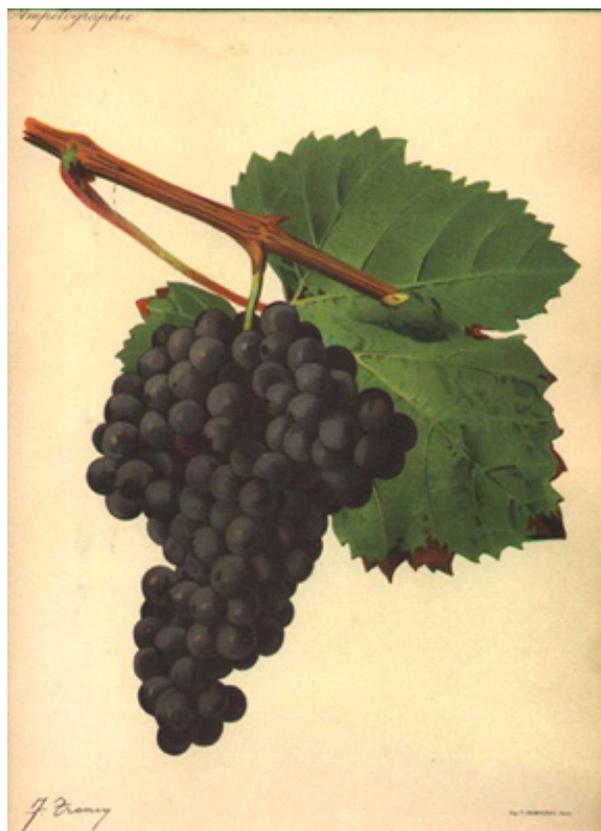
## Introducción

El conocimiento de los componentes que son responsables de las características de sabor, aroma y color en los vinos, es un factor fundamental para hacer posible avanzar en el controlar y la mejora de la calidad del vino. En este sentido, es necesario disponer del conocimiento y la comprensión acerca de la función química y sensorial de los diferentes componentes de un vino, capaces de otorgarle su perfil único y diferencial. El uso inteligente de ambos tipos de información representa además una estrategia que puede producir grandes beneficios en el avance del conocimiento. Es decir que, tanto el estudio detallado de la composición química como la evaluación sistemática de la información sensorial, permiten encarar nuevos desafíos mediante la interpretación de los diferentes tipos de resultados por la aplicación de paquetes estadísticos.

El sector vitivinícola en el Uruguay se encuentra en un proceso de reconversión de su producción, así como de los canales de venta, incrementándose en los últimos años en forma importante la exportación de vinos de calidad a diversos mercados. La reconversión de los viñedos –es decir, la sustitución de híbridos, plantas virósicas y variedades de baja calidad enológica por variedades *Vitis viníferas*, de mayor aptitud enológica, es un proceso que sigue en curso en el sector.

Dentro del mercado internacional actual de vinos de calidad, día a día aumenta la participación de países hoy definidos como “vinos del nuevo mundo”. Estos países han explotando como estrategia de mercado la presentación de vinos del tipo varietal con *Vitis vinifera* (o sea elaborados con una sola variedad de uva como Cabernet Sauvignon, Chardonnay, etcétera), con lo cual se compete frente a los vinos europeos de zonas de producción determinadas o con denominaciones de origen de gran tradición histórica. Los países que están teniendo más éxito en el mercado han sido los que han identificado y desarrollado una variedad típica de su país, la que ha servido de bandera para dar identidad propia a sus vinos. Algunos ejemplos pueden enumerarse, como: Australia (el Syrah), Nueva Zelandia (el Sauvignon blanc), Sudáfrica (el Pinotage), Chile (el Cabernet Sauvignon) y

Argentina (el Malbec). El Uruguay se une a este grupo de países, ingresando al mercado con vinos varietales y con la idea de desarrollar la *Vitis vinifera* Tannat para la elaboración de sus vinos más típicos (Carrau, 1997). Esta es una de las primeras variedades que fue introducida a Uruguay, adaptándose muy bien a sus suelos y las características ecológicas, y prácticamente no se encuentra plantada más que en una pequeña región de Francia, en el País Vasco y en Uruguay.



Descripción ampelográfica de la variedad *Vitis vinifera* cv Tannat

Una visión general de la relevancia de *Vitis vinifera* Tannat plantada en Uruguay, se muestra en la tabla.

**Perfil productivo del sector vitivinícola uruguayo.\***

Hectáreas plantadas con viñedos	8.300
Hectáreas de variedades <i>Vitis vinifera</i>	7.500
Viticultores	2.500
Producción de vino hectolitros / año en 2009	800.000
Consumo interno	97.0 % (32 L /cápita /año incluyendo vinos importados)
Exportaciones	3.0% (35.000 cajas in 1996)
Bodegas totales	258 (52% producen menos de 100.000 litros por año)

\* INAVI - Instituto Nacional de Vitivinicultura – Uruguay (2009).

Dado su baja superficie plantada a nivel mundial, esta variedad ha sido muy poco estudiada, incluso en Francia, siendo necesaria una caracterización de la misma a nivel químico (quimiotaxonomía), genético y sensorial, así como de las mejores prácticas para su vinificación. Con este fin se encaró el estudio de la producción de los vinos de esta variedad. En el proceso de la vinificación existen varias etapas que son fundamentales para la obtención de vinos de calidad, como son: la fermentación alcohólica con levaduras, la fermentación maloláctica con bacterias lácticas, la crianza en barricas y la conservación del vino en botellas hasta su consumo. Durante todos estos procesos la fruta, inicialmente cosechada con un buen manejo de la vinificación, puede desarrollar todo su potencial en cuanto a su composición

Este artículo presenta un resumen de las últimas investigaciones y desarrollos realizados en Uruguay con el Tannat desde el año 1995 por nuestro grupo de investigación.

## Resultados

Desde 1995, la Sección de Enología de la Facultad de Química ha diseñado un plan estratégico para mejorar la investigación sobre diferentes aspectos relacionados con la variedad Tannat, a través de la ejecución multidisciplinaria de diferentes proyectos de investigación sobre:

1. Recuperación y caracterización genética de clones de Tannat antiguos y nuevos
2. Control biológico de hongos patógenos *Vitis vinifera*s con levaduras nativas y bacterias (Rabosto *et al*, 2006)
3. Selección de levaduras y bacterias lácticas autóctonas. Fermentaciones mixtas de cepas capaces de producir metabolitos con un impacto en los compuestos aromáticos de los vinos Tannat, dando como resultado un aumento en la complejidad y la tipicidad de estos vinos.
4. Caracterización de los compuestos aromáticos y polifenólicos (antocianos y sus polímeros) de *V. vinifera* Tannat
5. Descripción molecular del potencial antioxidante, y beneficios para la salud, de los vinos producidos de uvas de *V. vinifera* Tannat
6. Establecer relaciones que permitan comprender las expectativas de los consumidores acerca de los vinos Tannat (análisis sensorial) y correlacionar estos resultados con la expresión metabólica de la planta y, por lo tanto, establecer los componentes de la uva y el vino involucrados (análisis quimiométrico) (Puyares *et al*, 2010).

## **Diversidad genética de la variedad Tannat**

Muy pocos estudios han diferenciado genéticamente clones dentro de una variedad de uva. En este sentido la variedad Tannat, junto con el *Pinot noir*, es una de las excepciones. En este sentido, González Techera *et al* (2004) evidenciaron que los clones de Tannat son genéticamente muy uniformes y que las diferencias ampelográficas asignadas a los diferentes clones (ENTAV, 1995) se deben probablemente a las diferencias epigenéticas. Un microsatélite (VMCNg 1d12), de los 89 evaluados en este estudio, permitió distinguir claramente dos grupos de clones. En ambos grupos fue posible encontrar tanto los viejos clones uruguayos como los clones franceses comerciales, lo que sugiere que los progenitores originales eran probablemente los mismos.

Estos resultados sugieren que podría haber sólo dos fuentes originales, y dos historias de propagación, para estos clones de Tannat. Sin embargo, a pesar de la diversidad clonal limitada encontrada en Tannat, esta variedad ha sido definida como uno de los antiguos “cepages” provenientes del suroeste de Francia (Durquety y Houbart, 1982).

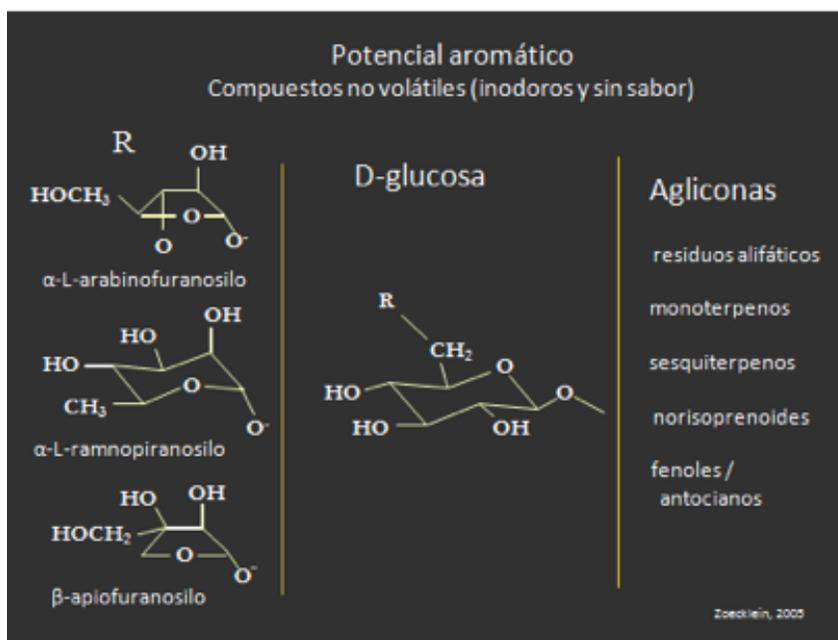
Por otra parte, el análisis estadístico de las concentraciones de los compuestos responsables del aroma de vinos obtenidos por microvinificaciones, también dio lugar a los mismos dos grupos de clones de Tannat (González Techera *et al*, 2004), siendo este el primer estudio de una correlación entre los compuestos relacionados con el aroma y marcadores moleculares provenientes de clones de una variedad de *Vitis vinifera*.

A inicios de 2012 se concretó otra etapa con la secuenciación del genoma de la uva Tannat. El trabajo fue desarrollado por el Prof. Massimo Delledonne (Universidad de Verona, Italia), quien colaboró con el grupo de investigadores uruguayos en la aplicación de nuevas técnicas de secuenciación masiva para lograr este objetivo (Zenoni *et al*, 2010). Los resultados demostraron características genéticas destacables de esta variedad, a la vez que ha permitido explicar la formación de algunos productos del metabolismo de la variedad Tannat.

## **Aroma, color y taninos, tres características de la composición de las uvas y vinos de la variedad Tannat**

En las uvas y vinos los compuestos volátiles y no volátiles (polifenoles), libres y ligados (unidos a azúcares), juegan un papel relevante en su calidad, como resultado de su efecto marcado (aroma, sabor y color) sobre nuestros órganos sensoriales. Como ocurre con la mayoría de los alimentos, el aroma o “bouquet” de un vino está influenciada por la acción de varios cientos de compuestos diversos, actuando sobre los órganos sensoriales.

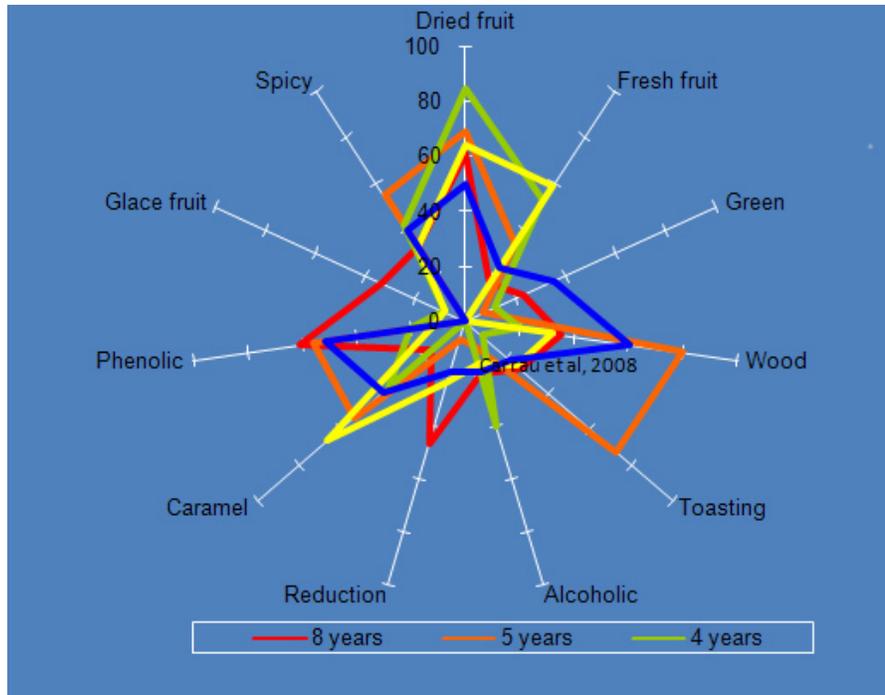
En el caso de los compuestos terpénicos presentes en la uva, su composición se relaciona directamente con la variedad de que trate (Carro et al, 1996), es decir, que la biosíntesis de estos compuestos con gran diversidad estructural se encuentra codificada por el genoma particular de cada variedad de *Vitis vinifera*. En las uvas, como en otras frutas, los terpenos pueden estar presentes en forma libre o ligada (unidos a azúcares, glicosidados) (Lucker et al, 2001).



Compuestos glicosidados en *Vitis vinifera*s

Los terpenos en su forma glicosidada no son olorosos y en la mayoría de los casos son más abundantes que las formas libres no glicosidadas. Esto determina que las formas glicosidadas representen una forma de contribución potencial al aroma de la uva, ya que son precursores de compuestos responsables del aroma y, durante el proceso de elaboración del vino, algunos compuestos terpénicos pueden separarse de los azúcares por hidrólisis enzimática o química (Maicas y Mateo, 2005; Gunata *et al*, 1990).

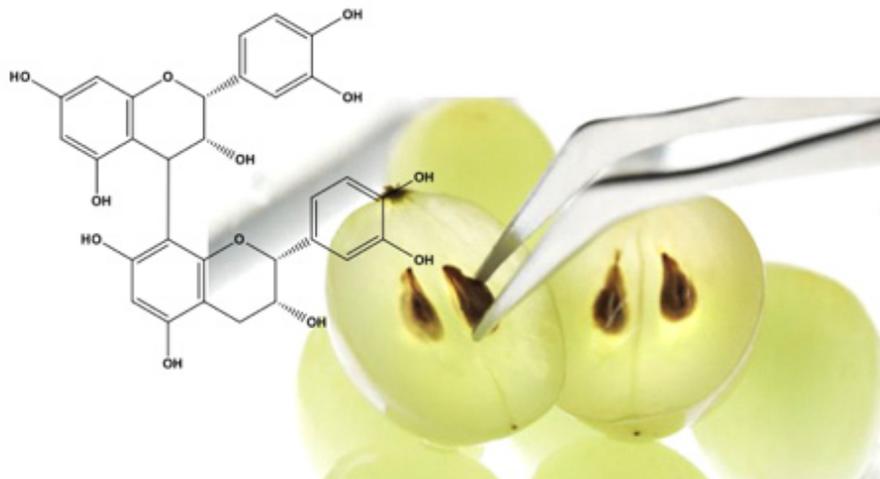
A su vez, el aroma de los vinos está influenciada por muchos factores: variedad de la uva, clima, suelo, condiciones de fermentación, cepas de levadura y otros procesos enológicos de producción. El perfil aromático resultante, con sus características cualitativas y sus descriptores cuantitativos, tiene un papel fundamental en la caracterización de la tipicidad de un vino. Los compuestos considerados estrictamente relacionados con la variedad, como los terpenos y norisoprenoides (productos de degradación de los carotenos), pueden ser importantes para la expresión característica de los vinos de las diferentes variedades (Rapp, 1998; Petka *et al*, 2006).



Descripción del impacto sensorial en la evolución por envejecimiento de los vinos de la variedad Tannat

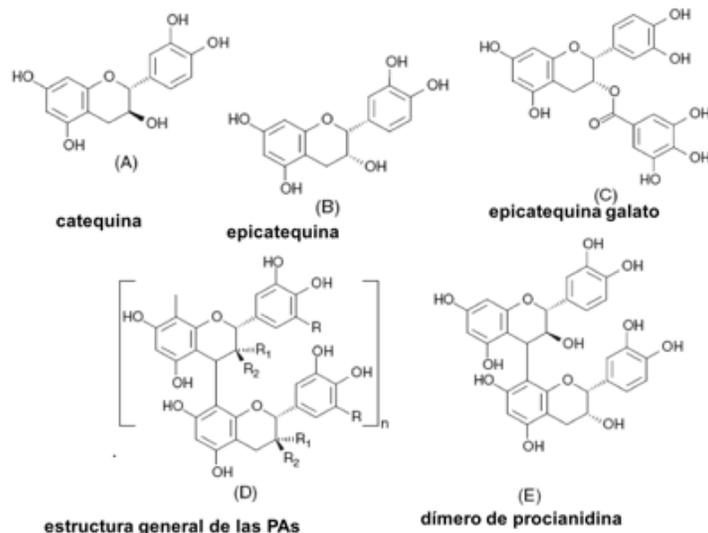
## Compuestos polifenólicos en el vino Tannat

Las uvas y vinos contienen diferentes tipos de antocianos, que son responsables del color del vino tinto.



Los compuestos polifenólicos en las semillas de uvas de la variedad Tannat

En la uva los compuestos fenólicos se encuentran principalmente en las semillas (figura 5) y las capas internas de la cáscara, mientras que la pulpa generalmente sólo contiene cantidades muy bajas. La concentración de los compuestos fenólicos está condicionada por la variedad y depende de factores vitícolas y ambientales.



Principales grupos de compuestos polifenólicos en las uvas y vinos de la variedad Tannat

Las antocianinas se extraen y pasan al mosto durante la vinificación, proporcionando la característica tonalidad de color rojo púrpura de los vinos tintos jóvenes (Medina *et al*, 2005).

En el mercado internacional los vinos Tannat muestran una demanda creciente, ya que son considerados originales, estructuralmente agradables y con potencial de envejecimiento. Una de las características más notables de estos vinos es su color intenso. Se ha demostrado que los vinos Tannat poseen el contenido más elevado de pigmentos, cuando se comparan con los vinos tintos elaborados a partir de otras variedades de uva (Alcalde-Eon *et al*, 2006).

Para la uva Tannat se han estudiado por una parte los compuestos polifenólicos directamente relacionados con el color (antocianos) y sus variaciones con los tratamientos clásicos del viñedo (Gonzalez *et al*, 2004). Pero, por otra parte, se evaluaron los cambios cualitativos y producidos en los compuestos de evolución a partir de los vinos Tannat jóvenes (Gonzalez *et al*, 2004; Alcalde-Eon *et al*, 2006), así como los cambios cualitativos y cuantitativos producidos durante el envejecimiento (Gonzalez *et al*, 2004). Las propiedades de color vino se tuvieron en cuenta para controlar la evolución del color durante un período de 6 años de envejecimiento, y también para establecer la contribución del perfil de antocianinas de la calidad del vino (Gonzalez *et al*, 2004).

En este sentido, en los vinos el término tanino describe una serie de compuestos polifenólicos que incluye los monómeros de flavan-3-ol y las proantocianidinas (figura 5). Los taninos de la uva son componentes sensoriales importantes para la calidad del vino. Las proantocianidinas

se encuentran en todas las partes de la uva, pero las cáscaras contienen menor cantidad de proantocianidinas que las semillas y sus características estructurales también son diferentes (Ricardo da Silva *et al*, 1991, Labarbe *et al*, 1999; Prieur *et al*, 1994, Souquet *et al*, 1996; Labarbe *et al*, 1999, Moutounet *et al*, 1996; Cheynier *et al*, 1997).

En nuestro trabajo hemos podido caracterizar los taninos presentes en la uva de la variedad tannat y su evolución durante la maduración, obteniendo información que explica las tonalidades de los vinos de esta variedad y su relación con el concepto de “vino y salud” (Boido *et al*, 2009).

## Conclusiones

Como se mencionó anteriormente, los vinos Tannat son ricos en contenidos de color y taninos (en promedio de dos a tres veces el contenido de polifenoles totales de Cabernet Sauvignon) (figura 5). Por otra parte, el alto contenido en polifenoles de esta variedad podría ser explicado por una diferente adaptación a su hábitat natural, en comparación con otras variedades.

En los últimos diez años nuestras investigaciones se han centrado en la búsqueda de modificaciones que pueden aumentar la expresión aroma de los compuestos aromáticos glicosilados de esta variedad. Al mismo tiempo las prácticas de vinificación, utilizando un envejecimiento “sur lie”, han dado como resultado la presencia en los vinos de taninos más suaves y agradables.

Por otra parte, los resultados también tienen un gran impacto en el desarrollo de nuevos enfoques para el manejo de la canopia (frondosidad); la gestión de la uva en el viñedo; procesos de maceración del mosto; selección de levaduras nativas; procesos de micro oxigenación en el barril, y envejecimiento en botella. De hecho, nuestro trabajo de investigación utiliza el viñedo como laboratorio de trabajo, en la búsqueda de herramientas para aumentar los precursores de aroma en la uva y poder gestionar la expresión sensorial de esta variedad (Boido *et al*, 2002; Fariña *et al*, 2005; Carrau *et al*, 2005; Medina *et al*, 2005; Carrau *et al*, 2008; Carrau *et al*, 2008).

En este sentido, la presencia de elevadas concentraciones de compuestos aromáticos, unidos a azúcares (glicosidados) en la variedad Tannat (Boido *et al*, 2010), determina la necesidad de seleccionar cepas de levaduras con mayor capacidad para romper la unión con los azúcares (actividad glicosidasa) y, por lo tanto, su adaptación a la vinificación de esta variedad. Una situación similar se demostró para seleccionar las cepas de bacterias (*Oenococcus oeni*) necesarias para realizar la segunda fermentación de un vino (fermentación maloláctica) (Boido *et al*, 2002).

Desde un punto de vista enológico, el aporte al conocimiento realizado por el trabajo multidisciplinario de nuestro grupo, permite afirmar que las uvas de la variedad *Vitis vinifera* cv Tannat hacen posible

la obtención de vinos de excelente calidad, como consecuencia de los componentes presentes en la uva y la gestión de su transformación durante el proceso de vinificación.

En la actualidad, a partir del trabajo realizado sobre la expresión metabólica de las uvas de esta variedad, sumado al hecho de disponer de información acerca de su genoma, abren un nuevo horizonte de oportunidades para el equipo de investigación, en la búsqueda de la potencialidad transcriptómica de esta variedad.

## Agradecimientos

Los autores deseamos dedicar esta comunicación al Dr. Giuseppe Versini (Istituto Agrario di San Michele all'Adige, Trento, Italy), quien ya no se encuentra entre nosotros, pero que siempre tuvo la gentileza de compartir sus conocimientos y su amistad. También expresamos nuestro agradecimiento al Dr. P. Henschke (Australian Wine Research Institute, Adelaide, Australia). Los resultados presentados en este trabajo han sido posibles gracias a los aportes financieros del Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias (INIA), la Comisión Sectorial de Investigación Científica (CSIC-UdelaR) y la Agencia Nacional de Investigación e Innovación (ANII-PDT, Fondo Clemente Estable).

## Bibliografía

Alcalde-Eon C., E. Boido, F. Carrau, E. Dellacassa, J.C. Rivas-Gonzalo. 2006. The aging effect on the pigment composition and color of *Vitis vinifera* cv Tannat wines. Contribution of the main pigment families to wine color. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 54: 6692-6704.

Boido E., A. Lloret, K. Medina, F.M. Carrau, E. Dellacassa. 2002. Effect of  $\alpha$ -glycosidase activity of *Oenococcus oeni* on the glycosylated flavor precursors of Tannat wine during malolactic fermentation. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 50: 2344-2349.

Boido E., A. Lloret, K. Medina, L. Fariña, F.M. Carrau, G. Versini, E. Dellacassa. 2003. Aroma composition of *Vitis vinifera* cv. Tannat: the typical red wine from Uruguay. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 51: 5408-5413.

Boido E., M. García-Marino, M. Escribano-Bailon, J. Rivas-Gonzalo, K. Medina, L. Fariña, F. Carrau, E. Dellacassa. 2009. Identificación y cuantificación de flavan-3-ol en semillas de uvas Tannat. XII Congreso Latino-Americano de Viticultura y Enología. Montevideo, Uruguay.

Câmara J S., P. Herbert, C. Marques, M.A. Alves. 2004. Varietal flavour compounds of four grape

varieties producing Madeira wines. *Analytica Chimica Acta*, 513: 203-207.

Carrau F.M., K. Medina, E. Boido, L. Farina, C. Gaggero, E. Dellacassa, G. Versini, P.A. Henschke. 2005. De novo synthesis of monoterpenes by *Saccharomyces cerevisiae* wine yeast. *FEMS Microbiology Letters*, 243: 107-115.

Carrau F.M. 1997. The emergence of a new Uruguayan wine industry. *Journal of Wine Research*, 8: 179-185.

Carrau F.M., E. Boido, E. Dellacassa. 2008. Terpenoids in grapes and wines: origin and micrometabolism during the vinification process. *Natural Product Reports*, 3: 577-592.

Carrau F., K. Medina, L. Farina, E. Boido, P.A. Henschke, E. Dellacassa. 2008. Production of fermentation aroma compounds by *Saccharomyces cerevisiae* wine yeasts: Effects of yeast assimilable nitrogen on two model strains. *FEMS Yeast Research*, 8: 1196-1207.

Carro N., E. López, Z.Y. Günata, R.L. Baumes, C.L. Bayonove. 1996. Free and glycosidically bound aroma compounds in grape must of four non-floral *Vitis vinifera* varieties. *Analysis*, 24: 254-258.

Cheyrier V., C. Prieur, S. Guyot, J. Rigaud, M. Moutounet. 1997. The structures of tannins in grapes and wines and their interactions with proteins. In T. R. Watkins (Ed.), *Proceedings of ACS symposium series 661, Wine: Nutritional and therapeutic benefits*, 81.

Durquety P.M., J.P. Houbart. 1982. Two Tannat sports: "meunier" and "bulle". *Progress in Agriculture and Viticulture*, 99: 83-87.

ENTAV. 1995, *Catalogue des Variétés et Clones de Vigne Cultivés en France*. Etablissement National Technique pour l'Amélioration de la Viticulture, Le Grau du Roi, France.

Fariña L., E. Boido, F.M. Carrau, G. Versini, E. Dellacassa. 2005. Terpene compounds as possible precursors of 1,8-cineole in red grapes and wines. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 53: 1633-1636.

Gámbaro A., E. Boido, A. Zlotejablko, K. Medina, A. Lloret, E. Dellacassa, F. Carrau. 2001. Effect of malolactic fermentation on the descriptive analysis of Tannat wine aroma. *Australian Journal of Grape And Wine Research*, 7: 27-32.

González-Neves G., D. Charamelo, J. Balado, L. Barreiro, R. Bochicchio, G. Gatto, G. Gil, A. Tessore, A. Carbonneau, M. Moutounet. 2004 Anthocyanic composition of Tannat grapes from the South region of Uruguay. *Analytica Chimica Acta*, 513: 197-202.

González Techera A., S. Jubany, I. Ponce de León, E. Boido, E. Dellacassa, F. Carrau, P. Hinrichsen, C. Gaggero. 2004. Molecular diversity within clones of *Vitis vinifera* cv. Tannat. *Vitis*, 43: 179-185.

Gunata Y.Z., C.L. Bayonove, C. Tapiero, R.E. Cordonnier. 1990. Hydrolysis of grape monoterpenyl  $\beta$ -glucosides by various  $\beta$ -glucosidases. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 38: 1232-1236.

Labarbe B., V. Cheynier, F. Brossaud, J.M. Souquet, M. Moutounet. 1999. Quantitative fractionation of grape proanthocyanidins according to their degree of polymerization. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 47: 2719-2723.

Lucker J., H. J. Bouwmeester, W. Schwab, J. Blaas, L.H.W. Van Der Plas, H.A. Verhoeven. 2001. Expression of Clarkia S-linalool synthase in transgenic petunia plants results in the accumulation of S-linalyl- $\beta$ -D-glucopyranoside. *The Plant Journal*, 27: 31-324.

Maicas S., J.J. Mateo. 2005. Hydrolysis of terpenyl glycosides in grape juice and other fruit juices: a review. *Applied Microbiology and Biotechnology*, 67: 322-335.

Mateo J.J., M. Jiménez. 2000. Monoterpenes in grape juice and wines. *Journal of Chromatography A*, 881: 557-567.

Medina K., E. Boido, E. Dellacassa, F. Carrau. 2005. Yeast interactions with anthocyanins during red wine fermentation. *American Journal of Enology and Viticulture*, 56: 104-108.

Moutounet M., J. Rigaud, J.M. Souquet, V. Cheynier. 1996. Caracterisation structurale des tanins de la baie de raisin. Quelques exemples de l'incidence du cepage, du terroir et du monde de conduite de la vigne. *Bulletin de l'OIV*, 433-443.

Petka J., V. Ferreira, M. A. González-Viñas, J. Cacho. 2006. Sensory and chemical characterization of the aroma of a white wine made with Devin grapes. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 54: 909-915.

Prieur, J. Rigaud, V. Cheynier, M. Moutounet. 1994. Oligomeric and polymeric procyanidins from grape seeds. *Phytochemistry*, 36: 781-784.

Puyares V., G. Ares, F. Carrau. 2010. Studying the influence of bottle shape and colour on consumer expectations and willingness to purchase Tannat wine. *Food Quality and Preference*, 21: 684-691.

Rabosto X., M. Carrau, A. Paz, E. Boido, E. Dellacassa, F.M. Carrau. (2006). *American Journal of Enology and Viticulture*, 53, 332.

Rapp A. 1998. Volatile flavour of wine. *Nahrung*, 42: 351-363.

Ricardo-da-Silva J.M., J. Rigaud, V. Cheynier, A. Cheminat, M. Moutounet. 1991. Procyanidin dimers and trimers from grape seeds. *Phytochemistry*, 1991: 30, 1259-1264.

Rosillo L., M.R. Salinas, Garijo J., G L. Alonso. 1999. Study of volatiles in grapes by dynamic headspace analysis. *Journal of Chromatography A*, 847: 155-159.

Souquet J. M., V. Cheynier, F. Brossaud, M. Moutounet. 1996. Polymeric proanthocyanidins from grape skins. *Phytochemistry*, 43: 509-512.

Viala P., V. Vermorel. 1903. *Traité général de viticulture*. Tomo IV Ampélographie, 1st ed., Masson et Cie. Editeurs, Paris.

Zenoni S., A.Ferrarini, E. Giacomelli, L. Xumerle, M. Fasoli, G. Malerba, D. Bellin, M. Pezzotti, M. Delledonne. 2010. Characterization of transcriptional complexity during berry development in *Vitis vinifera* using RNA-Seq. *Plant Physiology*, 152: 1787-1795.

Zoecklein B.W. 2005. Management of grape and wine aroma and flavor. International Symposium of Food Science and Technology. Virginia Tech, Blacksburg, USA.

