

## PIWI: una herramienta para mejorar la sostenibilidad del viñedo

**CRISTINA MENÉNDEZ MENÉNDEZ** es doctora ingeniera agrónoma por la Universidad de California, Riverside. Es profesora titular de la Universidad de La Rioja e investigadora del Instituto de Ciencias de la Vid y el Vino, y responsable del grupo Breedvitis. Su investigación está centrada en la selección de nuevos genotipos para adaptación al cambio climático en uva de vinificación con especial interés en la interacción vid-oídio y el estudio del comportamiento de variedades resistentes a enfermedades fúngicas.

**MARÍA DEL MAR HERNÁNDEZ ÁLAMOS** es doctora en Ciencias Biológicas por la Universidad Politécnica de Valencia. Actualmente es profesora titular de la Universidad de La Rioja, e investigadora del Instituto de Ciencias de la Vid y el Vino en el grupo Breedvitis. Su investigación se centra

**CRISTINA MENÉNDEZ MENÉNDEZ<sup>1</sup>, MARÍA DEL MAR HERNÁNDEZ ÁLAMOS<sup>1</sup> y LEONOR RUIZ-GARCÍA<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Instituto de Ciencias de la Vid y el Vino (ICVV) (Universidad de la Rioja, CSIC, Gobierno de La Rioja) Departamento de Viticultura. La Grajera, Logroño, La Rioja

<sup>2</sup>Instituto Murciano de Investigación y Desarrollo Agrario y Medioambiental (IMIDA) Departamento de Biotecnología, Genómica y Mejora Vegetal. La Alberca, Murcia

### Introducción

El control de las enfermedades criptogámicas es uno de los retos más importantes en agricultura y especialmente en viticultura, por el elevado número de tratamientos fitosanitarios que los viticultores se ven obligados a aplicar. La viticultura en Europa es un sector líder de la economía agroindustrial: La Unión Europea (UE) representa el 50 % de la superficie mundial de viña, con 3,3 millones de ha, de las que el 96 % están dedicadas a uva de vino. España sigue siendo el país con mayor **superficie vitícola del mundo** (13,1%), con casi 1 millón de ha (961 000 ha). La importancia económica de la especie, unida a que la vid es el cultivo de la UE que mayor número de tratamientos fitosanitarios recibe, hacen que la mejora de la sostenibilidad de la viticultura sea una necesidad urgente.

El oídio, causado por el ascomiceto *Erysiphe necator*, y el mildiu, causado por el oomiceto *Plasmopara viticola*, son las enfermedades que acaparan el mayor porcentaje de aplicaciones anuales de fitosanitarios en los viñedos. Ambos son patógenos obligados, biotrófos y policíclicos, infectando todos los tejidos verdes de la vid. *Plasmopara viticola* crece óptimamente tras abundantes lluvias y una temperatura suave entre 18-22 °C, mientras que *Erysiphe necator*

desarrolla un crecimiento óptimo con una humedad relativa próxima al 85 % y una temperatura entre 25-28 °C. Estas enfermedades se introducen en el siglo XIX en Europa provenientes del continente americano, y afectan a la cantidad y calidad de la cosecha, causando graves pérdidas económicas en el viñedo, de hasta el 90 % si no se controlan.

El ascomiceto *Erysiphe necator* es un hongo con un ciclo alternante de reproducción asexual y sexual. La fase asexual produce en las hojas un micelio superficial de color gris que se reproduce creando hifas verticales que se transforman en cadenas de conidias. La forma sexual del hongo, la cleistoteca, se produce cuando las condiciones externas no son favorables. Así el hongo pasa el invierno en forma de micelio dentro de las yemas de los brotes infectados el año anterior, o bien como cleistotecios en órganos que se han visto afectados, principalmente hojas en el suelo o corteza. En primavera, las infecciones primarias se producen por el micelio que está en las yemas, o por la germinación de las ascosporas de las cleistotecas, que tienen capacidad infectiva. El ciclo de *Erysiphe necator* dura entre 10 y 14 días si se dan las condiciones óptimas de temperatura y humedad. El viento es el principal

en la búsqueda de variedades resistentes/tolerantes al oídio, para el estudio de los metabolitos que intervienen en las relaciones entre vid-oídio, y en la evaluación agronómica y enológica de variedades resistentes a enfermedades fúngicas.

## LEONOR RUIZ-GARCÍA

es doctora ingeniera agrónoma por la Universidad Politécnica de Madrid. Actualmente es investigadora titular adscrita al Instituto Murciano de Investigación y Desarrollo Agrario y Medioambiental (IMIDA), y responsable del equipo de Mejora Genética Molecular. Su investigación se centra en la mejora genética de uva de vinificación mediante cruzamientos dirigidos y una selección asistida por marcadores moleculares, con dos objetivos principales: la obtención de variedades resistentes a factores abióticos, como la sequía y las altas temperaturas, y a factores bióticos, como el oídio y mildiu.



Figura 1. Síntomas causados por el oídio en hoja y racimo de vid (Foto tomada por Sara I. Blanco González, Breedvitis-ICVV).

agente de dispersión de las conidias generando las infecciones secundarias. La sintomatología incluye manchas cloróticas en el haz de las hojas [Figura 1], que se convierten en lesiones blancas y que, en casos de infección severa, causan un abarquillamiento característico. Las bayas infectadas aparecen cubiertas por un polvillo gris-blancuecino, que adquiere un tono marrón oscuro posteriormente, facilitando la penetración de las podredumbres por el agrietamiento de las bayas [véase figura 1].

El oomiceto *Plasmopara viticola* también es dimórfico en sus formas reproductivas, con esporas tanto sexuales como asexuales. Este rasgo influye fuertemente en el comportamiento epidemiológico de *P. viticola*, que se caracteriza por ciclos de infección primaria (sexual) y secundaria (asexual) que se superponen durante una parte de la temporada. Pasa el invierno en forma de oosporas en la hojarasca de suelos de viñedos, germinando en primavera y produciendo un

macrosporangio que libera zoosporas. Los macrosporangios o zoosporas, por separado o en combinación, llegan por la lluvia al dosel de la vid, infectando a través de los estomas. Las hojas infectadas presentan las típicas manchas de aceite en el haz [Figura 2] que se corresponden en el envés con una pelusilla blanquecina. Las bayas pueden ser afectadas de forma temprana, cubriéndose de pelusilla blanquecina, o de forma tardía, adquiriendo en este caso un color pardo [véase figura 2].

La mayoría de las variedades de *Vitis vinifera* son altamente susceptibles a la infección



Figura 2. Síntomas causados por el mildiu en hoja y racimo de vid (Foto tomada por José Luis Ramos Sáez de Ojer, Consejería de Agricultura, Gobierno de La Rioja).

El oídio, causado por el ascomiceto *Erysiphe necator*, y el mildiu, causado por el oomiceto *Plasmopara viticola*, son las enfermedades que acaparan el mayor porcentaje de aplicaciones anuales de fitosanitarios en los viñedos

El desarrollo de variedades de vid resistentes a enfermedades, obtenidas a través de cruces o hibridaciones de *Vitis vinifera* con otras especies resistentes del género *Vitis*, es una alternativa para avanzar en la sostenibilidad de la viticultura

de estos patógenos, mientras que las especies de vid americanas o asiáticas son más resistentes. El control del oídio y el mildiu se realiza actualmente mediante la aplicación sistemática de fungicidas, que tienen un impacto negativo en el medio ambiente, reducen la biodiversidad del ecosistema vitícola, además de incrementar los costes de producción de la uva. El Pacto Verde Europeo prioriza la protección y preservación del medio ambiente, e impone restricciones cada vez mayores para el uso de productos fitosanitarios. A esta situación se une una fuerte demanda social por la obtención y consumo de productos sostenibles y respetuosos con el medio ambiente. En este contexto, el desarrollo de variedades de vid resistentes a enfermedades, obtenidas a través de cruces o hibridaciones de *Vitis vinifera* con otras especies resistentes del género *Vitis*, es una alternativa para avanzar en la sostenibilidad de la viticultura. La introducción de estas variedades permitiría no sólo una reducción drástica de tratamientos fitosanitarios, sino también del combustible necesario para su aplicación, reduciendo la huella de carbono y el impacto de la maquinaria sobre el suelo. En ningún caso se pretende llegar a “cero tratamientos”, debido, por una parte, a la propia evolución de los patógenos para superar los distintos mecanismos de resistencia que se puedan introducir con las nuevas variedades resistentes; y, por otro lado, a la recomendación de mantener un número reducido de tratamientos que permitan controlar otras enfermedades menores que se controlan con los mismos productos fitosanitarios.

Con el fin de garantizar una resistencia efectiva y duradera en el tiempo, es necesaria la incorporación en la misma planta de múltiples genes de resistencia, de manera que puedan aportar distintos mecanismos de defensa frente al patógeno (resistencia piramidal). En vid se han identificado hasta 35 *loci* responsables de la resistencia a mildiu (*Rpv*) y 15 *loci* responsables de la

resistencia a oídio (*Ren/Run*), según consta en la página web del [Vitis International Variety Catalogue VIVC](#). Sólo algunos de estos *loci* confieren resistencia total o parcial-alta, que implica una limitación en el desarrollo del patógeno y la incapacidad para desarrollar su ciclo completo. En la mayoría de los casos los *loci* descritos aportan una resistencia sólo parcial, parcial-baja o limitada, según afecte a varios estadios del ciclo vital del patógeno, incluyendo la frecuencia de la infección, proporción del tejido colonizado, duración del periodo de latencia y la capacidad de producción de esporas<sup>[6]</sup>. El tipo de resistencia depende de la interacción planta-huésped, que presenta distintos modelos que incluyen la inmunidad desencadenada por la presencia del patógeno o por la presencia de elicitores de la respuesta en la planta.

## Interacción planta-huésped

Para que se produzca la enfermedad, el patógeno tiene que superar las barreras innatas, que pueden ser de tipo físico, como las paredes celulares, y/o de tipo bioquímico, como son la producción de ceras, de sustancias repelentes, etc. Esta inmunidad innata hace que la mayoría de los hongos no puedan acceder a la planta. Los patógenos que superan estas barreras producen señales químicas, denominadas efectores. Son moléculas virulentas cuya función es suprimir la activación de respuestas de la defensa inmune<sup>[3]</sup>. Sin embargo, la célula huésped puede reconocer a los efectores por medio de la producción de proteínas resistentes (PR) asociadas a la resistencia gen-gen, que activan una cascada de genes relacionados con la defensa. Los mecanismos incluyen depósitos de callosa en los puntos infectados, síntesis de compuestos fenólicos que conducen al fortalecimiento de la pared celular, la producción de metabolitos secundarios con función fungitóxica, como las fitoalexinas, y el aumento de la actividad peroxidasa, que lleva a una reacción hipersensible que induce la muerte

Las variedades de vid resistentes a enfermedades fúngicas se conocen con el nombre de PIWI, abreviatura del término alemán *Pilzwiederstandsfähig*, que significa 'resistente a hongos'

En España, el desarrollo de variedades de vid resistentes a enfermedades se inició más recientemente, en 2012, y sigue desde entonces en progreso

programada de las células infectadas y de las que le rodean. Es una historia de coevolución entre la planta y el patógeno; la existencia de genes resistentes en *Vitis* europeas, Kishmish Vatkana y Kara Djandjal, sin aparente historia coevolutiva, sugieren otros mecanismos para la activación de estos genes<sup>[4]</sup>.

## PIWI

Las variedades de vid resistentes a enfermedades fúngicas, obtenidas por el cruce de variedades europeas (sensibles en su mayoría a enfermedades como el oídio y/o mildiu) con variedades americanas o asiáticas (con diferente grado de resistencia a oídio y/o mildiu), se conocen con el nombre de PIWI, abreviatura del término alemán *Pilzwiederstandsfähig*, que significa 'resistente a hongos'. La [asociación PIWI International](#) apoya el intercambio de información entre institutos de investigación, viticultores, productores y consumidores, facilitando la propagación de estas variedades de vid. Esta asociación, presente en toda Europa, promueve la acogida de estos vinos especialmente entre los consumidores para los que es importante la sostenibilidad y la protección del medio ambiente y la salud.

Los programas de mejora de vid mediante cruzamientos o hibridaciones entre viníferas y especies americanas tiene su auge en los años 80 del siglo xx, gracias a la iniciativa de distintos centros de investigación de Alemania, Francia, Austria, Checoslovaquia, Suiza, Hungría e Italia, que desarrollan nuevos híbridos resistentes a oídio y/o mildiu, y que además son portadores de buenas características agronómicas y enológicas<sup>[7]</sup>. Algunos ejemplos son las variedades resistentes Felicia, Phoenix, Regent y Villaris, obtenidas en Alemania; Roesler, obtenida en Austria; Villard blanc y Seyval blanc, obtenidas en Francia; Cerasón, obtenida en Checoslovaquia; Cabernet Eidos, Fleurtaí, Merlot Khantus y Valnosia, obtenidas en Italia; o Sauvignac y Caber-

net Blanc, obtenidas en Suiza. Entre 2007 y 2010 se autoriza el cultivo en Alemania, Austria y Suiza de nuevas variedades resistentes: Regent, Prior, Johanniter, Solaris y Cabernet Cortis. En 2013 se autoriza la inscripción en Italia de las variedades resistentes Cabernet Cortis, Cabernet Carbon, Helios, Johanniter, Prior y Solaris, y en 2014 se admiten, para su cultivo en la D.O.C. Trentino-Alto Adigio, las variedades resistentes Regent, Bronner, Solaris y Cabernet Cortis. En Alemania hay ya 38 variedades resistentes disponibles para los viticultores<sup>[8]</sup>. En Francia, cuatro variedades, Artaban, Floreal, Vidoc y Voltis, han sido incluidas en el catálogo nacional en 2018 y clasificadas como *V. vinifera* en 2021, allanando el camino para su inclusión en vinos con Apelación de Origen Controlada (AOC).

## PIWI en España

En España, el desarrollo de variedades de vid resistentes a enfermedades se inició más recientemente, en 2012<sup>[10]</sup>, y sigue desde entonces en progreso. A nivel privado, se inició en Cataluña con el programa de mejora VRIAACC (de las siglas en catalán para Variedades Resistentes y Autóctonas Adaptadas al Cambio Climático), impulsado y financiado por tres bodegas (Albet i Noya, Celler Josep Piñol y Alta Alella). En este proyecto, participa el genetista suizo Valentin Blattner, que diseñó cruzamientos entre variedades resistentes a oídio y mildiu y las variedades locales más extendidas en Cataluña, como Macabeu, Xarel·lo, Montonec, Ull de Llebre o Garnacha. En la actualidad cuentan con más de 1000 plantas seleccionadas que están en proceso de evaluación.

A nivel público, el IMIDA (Instituto Murciano de Investigación y Desarrollo Agrario y Medioambiental) inició en el mismo año un programa de mejora partiendo de Monastrell, variedad de referencia de la zona, y de las variedades resistentes a oídio y/o mildiu Regent, Kishmish Vatkana

Aparte de estos programas de mejora, varios grupos de investigación en Castilla y León, Cataluña, Navarra, País Vasco y la Rioja estudian las posibilidades de utilización de variedades resistentes al oídio y al mildiu para reducir, entre un 50 % y un 75 %, el uso de productos fitosanitarios

Las variedades resistentes que están siendo objeto de estudio son cinco de uva blanca y cuatro de uva tinta

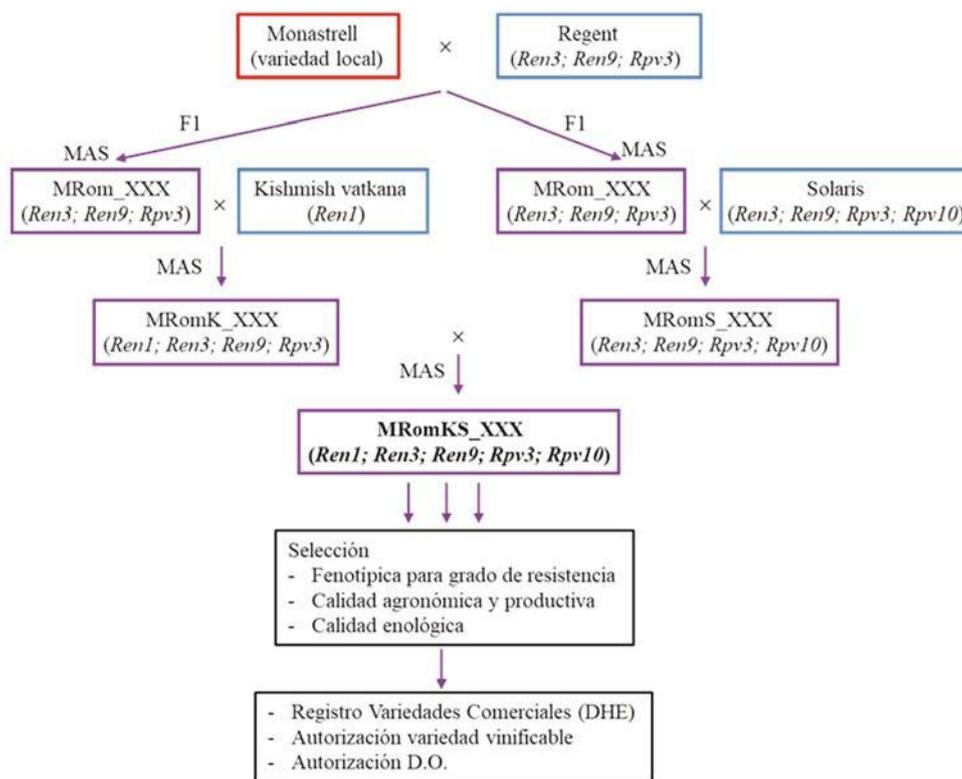


Figura 3. Diseño de los cruzamientos realizados en el programa de mejora de uva de vinificación del IMIDA, para la obtención de variedades resistentes. En la nomenclatura de las plantas seleccionadas: XXX indica un número variable de plantas en cada proceso; MAS, selección asistida por marcadores moleculares, por sus siglas en inglés *Marker Assisted Selection*; DHE, test para comprobar que son Distintas-Homogéneas-Estables; D.O., Denominación de Origen (Figura elaborada por Leonor Ruiz García, IMIDA).

y Solaris. Inicialmente se realizaron cruzamientos de Monastrell × Regent, y se seleccionaron con marcadores moleculares, mediante PCR, los descendientes que habían heredado los loci o genes de resistencia a oídio *Ren3* y *Ren9*, y el locus o gen de resistencia a mildiu *Rpv3*, procedentes de Regent [Figura 3]. Las plantas seleccionadas se denominaron MRom, y una vez entraron en producción, se cruzaron por Kishmish Vatkana, portadora del locus de resistencia a oídio *Ren1*, seleccionándose las plantas portadoras de los loci de resistencia *Ren3*, *Ren9*, *Ren1* y *Rpv3* (MRomK); por otro lado, también se realizaron cruzamientos entre las plantas MRom y Solaris, portadora de los loci de resistencia *Ren3*, *Ren9*, *Rpv3* y *Rpv10*, seleccionándose las plantas portadoras de los genes de resistencia *Ren3*, *Ren9*, *Rpv3* y *Rpv10* (MRomS). Actualmente se dispone de 33 plantas MRomK y 30 plantas MRomS, que ya han

entrado en producción y que se cruzarán entre ellas para seleccionar los genotipos o plantas MRomKS que reúnan todos los loci de resistencia *Ren3*, *Ren9*, *Ren1*, *Rpv3* y *Rpv10*, continuando con el programa de mejora hasta que se identifiquen plantas MRomKS que, además de la resistencia, tengan buenas cualidades agronómicas y enológicas [véase figura 3].

Aparte de estos programas de mejora, varios grupos de investigación en Castilla y León (ITACyL), Cataluña (INCAVI), Navarra (INTIA), País Vasco (NEIKER) y la Rioja (ICVV) estudian las posibilidades de utilización de variedades resistentes al oídio y al mildiu para reducir, entre un 50 % y un 75 %, el uso de productos fitosanitarios. Este estudio lo realizan en colaboración con el vivero Agromillora. Las variedades resistentes que están siendo objeto de estudio son cinco de uva blanca

Además del grado de resistencia en distintos ambientes, se estudia la adaptación agronómica y la calidad enológica de los vinos elaborados con las variedades resistentes mediante análisis sensorial

La mayor parte de los estudios constatan que el comportamiento agronómico de las PIWI está marcado por la reducción en el número de tratamientos, de 10-15 a 2

(Fleurtaí, Sauvignon Kretos, Sauvignon Nepis, Sauvignon Rytos y Soreli), y cuatro de uva tinta (Cabernet Eidos, Cabernet Volos, Merlot Kanthus y Merlot Khorus). También se están realizando ensayos con la variedad resistente Sauvignon Kretos en campos experimentales en Somontano (Viñas del Vero). Además del grado de resistencia en distintos ambientes, se estudia la adaptación agronómica y la calidad enológica de los vinos elaborados con las variedades resistentes mediante análisis sensorial (ICVV).

En España, desde 2011, las variedades resistentes híbridas no tendrían problema para su registro como variedades comerciales, una vez superados los ensayos DHE realizados durante cuatro años para determinar que son Distintas-Homogéneas-Estables, siguiendo los protocolos de la Oficina Comunitaria de Variedades Vegetales (CPVO). Una vez autorizadas como variedades comerciales, se tiene que demostrar que son aptas para vinificación en cada comunidad autónoma donde se solicite plantar, siguiendo el Real Decreto vigente por el que se regula el potencial de producción vitícola.

### Aceptación de estas variedades

#### Comportamiento agronómico y aptitud enológica

Aunque el número de variedades resistentes disponibles para los viticultores no para de aumentar, son todavía escasas las referencias sobre su comportamiento agronómico y enológico. Desde el punto de vista agronómico, la irrupción de estas variedades ha venido acompañada por los importantes efectos que el cambio climático tiene en viticultura. La floración y la maduración se adelantan, y las plantas sufren heladas primave-

rales tardías, estrés hídrico, y quemaduras por el sol y por otras condiciones. A nivel enológico, el estilo de los vinos cambia drásticamente, tendiendo a presentar un elevado grado alcohólico y una expresión aromática y organoléptica atípica<sup>[1,8]</sup>. Se han realizado estudios de comportamiento agronómico en Brasil, Estados Unidos, y varios países europeos (Italia, Alemania, Francia, Austria, España, etc.), que investigan aspectos diversos –desde la fenología, la producción, la eficiencia en el uso del agua, o el grado de resistencia a las enfermedades– con resultados diferentes, dada la diversidad de fondos genéticos utilizados [Figura 4]. La mayor parte de los estudios constatan que el comportamiento agronómico de las PIWI está marcado por la reducción en el número de tratamientos, de 10-15 a 2, que implica facilidades para el viticultor, menor coste de mano de obra y rendimientos más estables. En algunos casos se observa una resistencia variable a las enfermedades, dependiendo de las zonas y añadas, y probablemente asociada a la diversidad genética de las poblaciones de los hongos presentes<sup>[1]</sup>. La reducción de tratamientos fitosanitarios ha favorecido en algunos casos la prevalencia de otras enfermedades como la podredumbre negra causada por *Guignardia bidwellii*. Pero no siempre es así, dado que algunas de las variedades resistentes exhiben, además, otros caracteres positivos, como resistencia a la podredumbre negra, resiliencia a *Botrytis* o tolerancia a la quemadura del sol<sup>[8]</sup>.



Figura 4. Parcela de ensayo de PIWI en La Rioja (Foto tomada por Sara I. Blanco González, Breedvitis-ICVV).

Son varios los elementos que condicionan la compra de un vino, siendo los de mayor peso el país y la zona de origen, la variedad (familiaridad de las características organolépticas), la etiqueta y el precio

Los mejoradores de PIWI han tenido que redefinir sus objetivos para incluir otros retos y seleccionar plantas resistentes que, además, estén mejor adaptadas al cambio climático

En cuanto a la aptitud enológica, las PIWI actuales no presentan los perfiles “foxados” de los primeros híbridos productores directos resistentes a filoxera y a hongos. Actualmente, el porcentaje de *V. vinifera* en el fondo genético de los híbridos resistentes, mayor del 95 %, permite evitar muchos de los aromas y sabores desagradables provenientes de las *Vitis* no viníferas<sup>[8]</sup>. Además, los mejoradores se han esforzado en mantener la tipicidad de sus correspondientes viníferas en las nuevas variedades. Los perfiles enológicos pueden ser mejorados también durante la vinificación, y por ello es necesario estudiar el proceso de producción más adecuado para cada variedad. Aunque en un principio las PIWI se destinaban a vinos a granel o a mezclas, hoy en día se comercializan vinos 100 % PIWI como vinos de calidad en segmentos de precio más altos, en varios países.

### Aceptación por los consumidores

El conocimiento sobre las preferencias de los consumidores es crucial para buscar nichos de mercado. Un aspecto importante a tener en cuenta es el carácter de tradición que se crea en el imaginario del consumidor, que es clave a la hora de elegir un vino. Son varios los elementos que condicionan la compra de un vino, siendo los de mayor peso el país y la zona de origen, la variedad (familiaridad de las características organolépticas), la etiqueta y el precio.

Algunos consumidores perciben que, a largo plazo, estas variedades resistentes podrían llegar a sustituir a las tradicionales llevando a un empobrecimiento de la diversidad local y a la pérdida de tipicidad de los caldos<sup>[2]</sup>. No obstante, hay consumidores que son proclives a cambiar algunas de sus preferencias a favor de la sostenibilidad, apostando por variedades más respetuosas con el medio ambiente que impliquen una menor producción de residuos y reduzcan la huella de carbono<sup>[9]</sup>. Es por ello que algunas de las estrategias que se han propuesto para la comercialización de

los vinos elaborados con variedades resistentes, pasan por proporcionar una información clara y comprensiva del proceso de obtención de la variedad y de cómo ha sido elaborado el vino<sup>[2,9]</sup>.

La calidad sensorial de los vinos elaborados con variedades resistentes ha llegado a puntuar en la misma escala que su contraparte vinífera, e incluso en escalas superiores, en análisis de cata realizados tanto con jueces expertos como con consumidores<sup>[2]</sup>.

### Limitaciones de las PIWI

A pesar del potencial que presentan las PIWI en el ámbito de la sostenibilidad medioambiental, son varias las limitaciones que presenta su introducción en el mercado vitivinícola. Algunas son comunes a la introducción de cualquier otra nueva variedad, dado el carácter conservador de la viticultura en los países productores tradicionales, y otras son específicas.

Los mejoradores de PIWI han tenido que redefinir sus objetivos para incluir otros retos y seleccionar plantas resistentes que, además, estén mejor adaptadas al cambio climático. Desde el punto de vista agronómico, debe generarse un conocimiento sobre cuáles son las condiciones óptimas para su cultivo, con el fin de adaptar su ciclo a las condiciones específicas de la zona. También sería importante estudiar el efecto de plantaciones de PIWI en los viñedos de variedades tradicionales circundantes. Además, se debe optimizar el número y tipo de tratamientos a aplicar según la incidencia de las enfermedades y la presencia de otros patógenos o plagas. Por otra parte, las PIWI están sometidas a los mismos riesgos en cuanto a la durabilidad de las resistencias introducidas. El patógeno puede sobreponerse a los mecanismos de resistencia de la planta, como ya ha sucedido con *Rpv3*<sup>[5]</sup>, y frente a determinados fungicidas. Es esencial también el papel de los enólogos, y de las posibles modificaciones en el proceso de elaboración de los vinos que permitan elaborar vinos de calidad.

Es esencial también el papel de los enólogos, y de las posibles modificaciones en el proceso de elaboración de los vinos que permitan elaborar vinos de calidad

Un factor muy importante es la aceptación por parte de los consumidores. En este sentido, PIWI International está realizando esfuerzos para generar una marca distinta y apelar a un sector del mercado que está más concienciado con el respeto al medio ambiente y que puede percibir estos vinos como una alternativa, y no como una sustitución de los vinos *prémium* tradicionales.

Son necesarios más estudios con viticultores, enólogos y consumidores, y una trayectoria más larga en la obtención de PIWI de nueva generación, con más genes de resistencia incorporados y, sobre todo, con un perfil enológico indistinguible de las viníferas tradicionales a nivel de calidad.

## Perspectivas futuras

El futuro de las PIWI pasa por la obtención de variedades resistentes más adaptadas a las condiciones de cambio climático, desarrolladas con la aplicación de nuevas técnicas de mejora (NBT, por sus siglas en inglés *New Breeding Techniques*), y por estrategias de *marketing* que pongan en valor el ahorro en insumos y la calidad. Estas NBT permitirán reducir el tiempo de obtención, y la introducción de cambios genómicos en las variedades tradicionales sólo en sitios de interés, mientras el resto del genoma permanece sin cambios.

## REFERENCIAS

- [1] Blanco-González, S. I., Hernández, M. M. y Menéndez, C. M. (2022). "Comportamiento agronómico de variedades resistentes en La Rioja". *Actas Hortíc.* **91**: 70-74.
- [2] Kiefer, C. y Szolnoki, G. (2023). "Consumer acceptance of fungus-resistant grape varieties– An exploratory study using sensory evaluation test among consumers in Germany". *Sustainability* **15**: 10664.
- [3] Morales Santos, T. M. y Sánchez Hernández, H. (2022). "Mecanismos inmunológicos en las plantas". *Ciencia* **4**: 73-79.
- [4] Pap, D. et al. (2016). "Identification of two novel powdery mildew resistance loci, *Ren6* and *Ren7*, from the wild Chinese grape species *Vitis piasezkii*". *BMC Plant Biol.* **16**: 170.
- [5] Peressoti, E. et al. (2010). "Breakdown of resistance to grapevine downy mildew upon limited deployment of a resistant variety". *BMC Plant Biol.* **10**: 147.
- [6] Possamai, T. y Wiedemann-Merdinoglu, S. (2022). "Phenotyping for QTL identification: A case study of resistance to *Plasmopara viticola* and *Erysiphe necator* in grapevine". *Front. Plant Sci.* **13**: 930954.
- [7] Reynolds, A. G. (Ed.) (2015). *Grapevine Breeding Programs for the Wine Industry: Traditional and Molecular Techniques*, 1ª edición. Ed. Woodhead Publishing: Oxford, Reino Unido.
- [8] Töpfer, R. y Trapp, O. (2022). "A cool climate perspective on grapevine breeding: climate change and sustainability are driving forces for changing varieties in a traditional market". *Theor. Appl. Genet.* **135**: 3947-3960.
- [9] Vecchio, R. et al. (2022). "Consumer acceptance of fungus-resistant grape wines: Evidence from Italy, the UK, and the USA". *PLoS ONE* **17**: e0267198.
- [10] Viovert (2018). *Libro blanco sobre variedades resistentes. Estado de situación en Francia, España y Portugal*. Proyecto europeo Interreg SudOe Viovert 2016-219.

