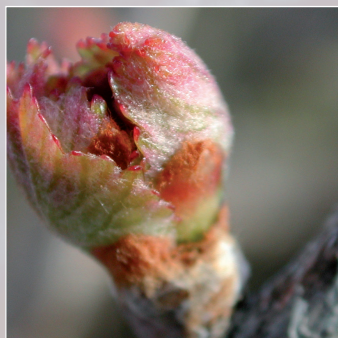


V Encuentro Enológico

Madrid, 8 de mayo de 2008

Hotel Meliá Castilla



Informe Técnico

Control del viñedo en los vinos de calidad

Patronato de la Fundación

Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación

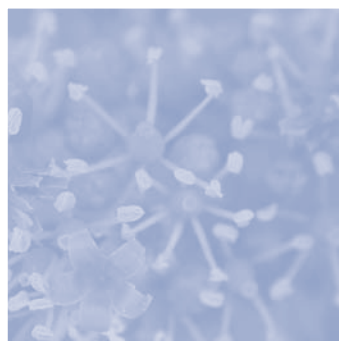
Bodegas Codorníu

Bodegas Julián Chivite

Bodegas La Rioja Alta, S.A.

Bodegas Vega Sicilia

Vinos de los Herederos del Marqués de Riscal



INFORME TÉCNICO

Control del viñedo en los vinos de calidad

Edita FUNDACIÓN PARA LA CULTURA DEL VINO

Pza. del Perú, 1 Esc. Izda. 1ª

28016 Madrid

Tel.: 91 343 07 08/09 · Fax 91 345 35 25

fundacion@culturadelvino.org

www.culturadelvino.org

Presidente: Guillermo de Aranzabal

Vicepresidente: Luis Miguel Beneyto

Gerente: Emilio Castro Medina

Todos los derechos reservados:

© Fundación para la Cultura del Vino

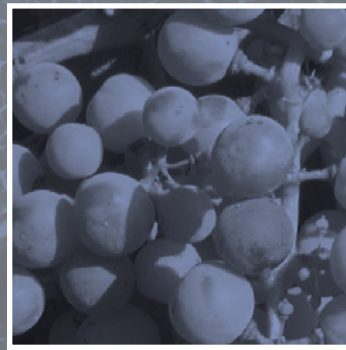
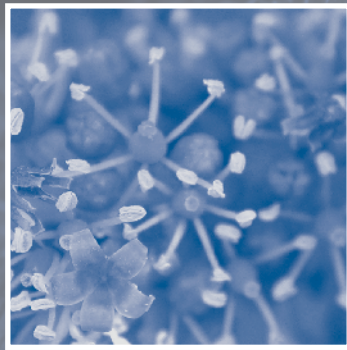
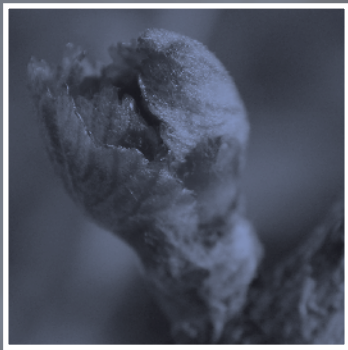
Diseño: Unaluna Publicidad

Madrid 2008



Fundación
para la
Cultura del Vino

V Encuentro Enológico



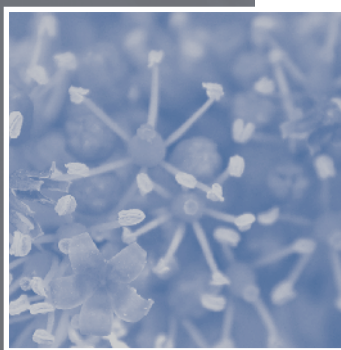
Informe Técnico

Control del viñedo en los vinos de calidad

Capítulo I

Índice

- 8** I. 1. El papel del suelo en la expresión del terroir.
- 12** I. 2. “¿Mil millones de hectáreas esterilizadas en un siglo?” ¿Ya es hora de cuidar los suelos!” (*ABCD Presse*)
- 20** I. 3. ENTREVISTA. Claude Bourguignon, microbiólogo de los suelos
- 28** I. 4. Respuestas de la viña al *terroir*. Elementos para determinar un método de estudio
- 34** I. 5. Actividad biológica de los suelos: intereses y métodos de evaluación



Capítulo II

Capítulo III

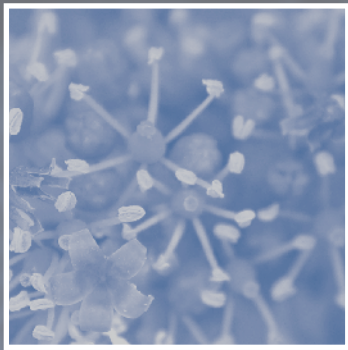


- 42** II.1. Influencia de la gestión del viñedo en la calidad de la uva.
- 52** II.2. Efectos de la poda en verde en la fotosíntesis del sarmiento, componentes de la cosecha y composición de la uva.
- 66** II.3. Valoración de la eficiencia de la masa vegetal de la vid.
- 78** II.4. Prácticas ambientales y de gestión que afectan a la composición de la uva y a la calidad del vino.
- 108** II.5. Estimación y control de la calidad de la uva en el viñedo.
- 116** II.6. Estimación de la calidad de la uva en el viñedo empleando un nuevo índice vitícola.
- 124** II.7. Estimación de la calidad de la uva tempranillo en el viñedo mediante la ficha VITUR.
- 132** II.8. Determinación y control del estado hídrico de la vid, efectos morfológicos y fisiológicos de la restricción hídrica en la vid.
- 144** II.9. Riego cualitativo de precisión en la vid.
- 154** II.10. El control del riego en la calidad del vino.
- 164** II.11. La gestión hídrica del viñedo.
- 184** II.12. Estrategias de gestión del riego en viñedos de vinificación.

- 206** III.1. Nuevos métodos para la determinación de la madurez fenólica
- 212** III.2. Influencia de la eliminación y el aporte de pepitas sobre el color, la composición fenólica y la astringencia del vino tinto
- 222** III.3. Influencia de la etapa de maduración y del tiempo de maceración en la contribución de hollejos, pepitas y rabillos en la composición fenólica y en la astringencia en maceraciones de vino simuladas
- 232** III.4. Influencia de la concentración de etanol en la extracción de color y de compuestos fenólicos de los hollejos y pepitas de uvas tempranillo en diversas etapas de maduración
- 244** III.5. Las vitisinas o piranoantocianos; nuevos pigmentos entificados en el vino tinto.



El suelo vitícola



Capítulo I

8

I.1. El papel del suelo en la expresión del terruño

Claude BOURGUIGNON y Lydia GABUCCI-BOURGUIGNON

12

I.2. “¿Mil millones de hectáreas esterilizadas en un siglo?” ¡Ya es hora de cuidar los suelos!” (*ABCD Presse*)

Claude BOURGUIGNON y Lydia GABUCCI-BOURGUIGNON

20

I.3. ENTREVISTA. Claude Bourguignon, microbiólogo de los suelos

28

I.4. Respuestas de la viña al *terroir*. Elementos para determinar un método de estudio

A. DELOIRE

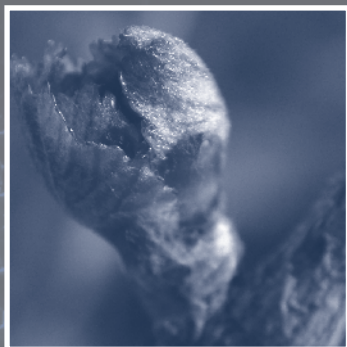
A. CARBONNEAU

M. FERRER

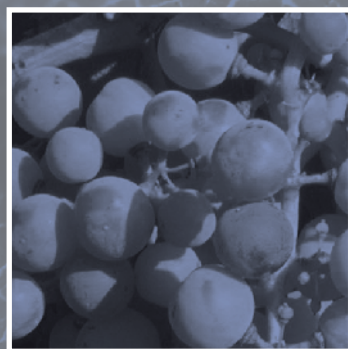
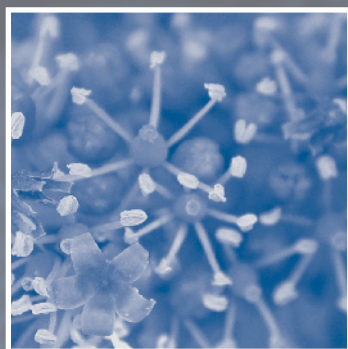
34

I.5. Actividad biológica de los suelos: intereses y métodos de evaluación

Eric CHANTELOT



I.1. El papel del suelo en la expresión del terruño



9	I.1.1. Introducción
9	I.1.2. Características físicas de los suelos de los terruños
10	I.1.3. Características químicas de los terruños
10	I.1.4. Características biológicas de los terruños
11	I.1.5. Conclusión
11	I.1.6. Referencias bibliográficas



Claude BOURGUIGNON

Ingeniero Agrónomo INAPG, Microbiólogo del suelo
Laboratorio de Análisis Microbiológico del Suelo

Lydia GABUCCI

Ingeniera IUT
Laboratorio de Análisis Microbiológico del Suelo



1.1.1. Introducción

Si bien los agrónomos han podido demostrar el papel de la climatología y de la topografía en la expresión del terruño, sólo han aportado explicaciones científicas muy parciales sobre el papel del suelo. Esto se debe a que han abordado el suelo desde un punto de vista físico-químico solamente, ignorando su dimensión biológica.

La fauna es responsable de la porosidad del suelo, y por ende de la penetración de aire y agua en profundidad, mientras que la microflora es responsable de la formación de los elementos negativos asimilables para las plantas, como los nitratos: NO_3^- , los fosfatos: PO_4^{3-} o los sulfatos: SO_4^{2-} .

Estos elementos, que son óxidos, sólo se pueden formar si el suelo está bien aireado por la fauna; pero ésta sólo se hunde en la profundidad del suelo si lo hacen las raíces.

De ese modo se comprende que al destruir la fauna del suelo con pesticidas, y al compactar los suelos con maquinaria cada vez más pesada, se impide la aireación del suelo y la actividad microbiana.

Las raíces de la vid vuelven a subir hacia la superficie para respirar, y sustituimos la labor de los microbios del suelo por abonos idénticos en todas partes.

De esa manera se tiende hacia una uniformización de los vinos, y se pasa progresivamente de un vino de terruño a un vino de varietal.

Al descuidar la biología de los suelos de los terruños, la profesión vitícola ha estandarizado los vinos, volviéndolos fáciles de copiar, y con ello los expone a la competencia extranjera.

El rápido desarrollo de los vinos del Nuevo Mundo, que ya representan el 30% del comercio mundial, y la evolución de los gustos de los consumidores, que beben menos vino pero son más exigentes en cuanto a su calidad, requieren una adaptación por parte de los vitivinicultores europeos. Tienen que pasar de la producción masiva a una producción de vinos de calidad, y en especial de vinos con denominación de origen controlada. Para adaptar la producción a la nueva demanda, dentro de cada hacienda hay que saber en

qué parcelas se puede invertir, porque esas inversiones se amortizarán a través de unos precios de venta más altos, y en qué parcelas no es necesario invertir porque de todas maneras sólo podrán producir vinos de varietal. Para ello es necesario un conocimiento de los "terruños".

Desde hace 15 años, nuestro laboratorio trabaja en la definición de las características físicas, químicas y biológicas de los suelos de tierras vitícolas, en especial de las de Borgoña.

Definir un papel de los suelos en la tipicidad permitiría no limitar ésta al clima, a la topografía, al varietal y a la vinificación.

Porque estos 4 criterios resultan relativamente fáciles de copiar por otros países. Por el contrario, la diversidad de los suelos y de las relaciones fundamentales que vinculan a los suelos, los microbios y las plantas alcanzan tal grado de complejidad que resultan imposibles de copiar, y por lo tanto garantizan a los vitivinicultores la originalidad de su vino.

Es necesario por tanto:

1. Definir los criterios físicos, químicos y biológicos más importantes en la definición de un suelo de terruño.
2. Desarrollar prácticas de cultivo que respeten dichas características.

Para ilustrar nuestro discurso hemos elegido la región de Borgoña, debido a su práctica monovarietal y a su unidad geológica (caliza del Jurásico).

Efectivamente, en esta región la diferencia de sabor observada entre dos vinos de una misma denominación sólo se puede deber al suelo, sobre todo cuando sendos vinos los elabora el mismo vitivinicultor.

1.1.2. Características físicas de los suelos de los terruños

1.1.2.1. La textura

Los enfoques granulométricos clásicos nunca han servido para caracterizar un terruño.

En Borgoña, por ejemplo, 2 pagos pueden presentar la misma granulometría y sin embargo producir vinos distintos, como es el caso de Latricière y Chapelle Chambertin.

En cambio, los suelos tienen una característica llamativa: la superficie específica de sus arcillas, es decir la superficie total desplegada por las hojuelas de un gramo de arcilla.

Los estudios que hemos realizado en Côtes de Nuits y Côtes de Beaune parecen indicar tres cosas:

1. El suelo de cada vino se caracteriza por una superficie específica peculiar.
2. Los suelos que dan vinos tintos contienen arcillas cuya superficie específica es más alta en promedio que la de aquéllos que producen vinos blancos.
3. En una misma denominación de vinos blancos, los vinos son tanto más finos cuanto más reducida es la superficie específica de las arcillas que contienen los suelos.

En la colina de Puligny-Montrachet se observa por ejemplo:

AOC Village:	Les Houlières:	375 m²/g.
Premier Crú:	Clavaillon:	233 m²/g.
Grand Crú:	El Montrachet:	176 m²/g.

Estos resultados preliminares se confirman en otras regiones francesas. La menor superficie específica que hemos llegado a medir en un viñedo es la de la Coulée de Serrant con 57 m²/g, y la más alta, la de Richebourg con 550 m²/g.

Dado que existe una relación lineal entre la superficie específica de una arcilla y su capacidad de intercambio de cationes, se puede formular la hipótesis de que cada tipo de arcilla alimenta la vid de forma específica, y que por lo tanto existe en los terruños un primer nivel de tipicidad debido al suelo, que es el de la superficie específica de las arcillas de su complejo absorbente.

I.1.2.2. La estructura

Los grandes terruños se caracterizan por una gran porosidad superficial y una gran porosidad en profundidad. Esas porosidades pueden ser de origen físico, como es el caso de la porosidad superficial de las gravas o de los cantos aluviales de Burdeos, Côtes du Rhône o del Valle del Loira, o de la porosidad profunda de los calizos figurados de Borgoña y Alsacia.

Pero estas porosidades también son de origen biológico (galerías y bolitas fecales de la fauna del suelo) como lo son la porosidad de las arcillas de Burdeos o

del Valle del Loira y la porosidad biológica de las calizas del subsuelo de Borgoña o de la roca caliza de Champagne, o la porosidad superficial de los suelos arcillo-calizos de Borgoña.

Estas grandes porosidades superficiales y de profundidad permiten que los suelos escurran rápidamente después de la lluvia, y por lo tanto que el suelo superficial se caliente rápidamente, fenómeno necesario para la buena maduración de la uva y la buena oxigenación de las raíces profundas. La circulación del agua en profundidad permite una alimentación hídrica regular de la vid en el verano.

Al detener el trabajo del suelo y matar a la fauna que lo habita con excesos de pesticidas, los viticultores impiden que el agua fluya hasta las capas profundas, favorecen la circulación superficial, e incrementan la erosión. Como ya no puede penetrar oxígeno en el suelo, el arraigo se vuelve superficial.

I.1.3. Características químicas de los terruños

No se ha podido correlacionar el contenido de ningún elemento importante asimilable con una tipicidad de terruño.

En cambio, los altos contenidos de ciertos oligoelementos asimilables parecen caracterizar ciertos terruños: altos contenidos de manganeso en la Coulée de Serrant, Le Morgon y Montrachet. Se puede incluso dosificar este oligoelemento en los vinos.

Estos oligoelementos del terruño sólo se pueden volver asimilables si la microflora del suelo es suficientemente activa como para quelatarlos.

Si se aporta un exceso de pesticidas, se puede bloquear la quelación biológica del oligoelemento.

Otra característica interesante es el tipo de caliza de los suelos.

Nuestras observaciones microscópicas demuestran que según como sea la circulación del agua, en los suelos existen por una parte calizas procedentes de las rocas, y también otras procedentes de la recarbonación microbiana.

En los primeros se plantan los tintos, y en los segundos los blancos.

Los suelos ricos en caliza bacteriana contienen muy poco hierro férrico libre, cuando sabemos que ese elemento es necesario para la síntesis de los antocianos.

I.1.4. Características biológicas de los terruños

Se sitúan a tres niveles: el de las raíces, el de la fauna del suelo y el de los microbios.

I.1.4.1. Características de los arraigos

Todos los grandes terruños que hemos estudiado presentaban profundos arraigos actuales o antiguos. Cuando el arraigo es profundo, el sabor del terruño es más fuerte que el del varietal.

La costumbre extendida después de la guerra mundial de elegir portainjertos productivos que exploten bien los abonos, pero con arraigamientos superficiales, como el SO4, ha favorecido el sabor del varietal con respecto al del terruño.

Observamos ese mismo problema en los suelos profundos de los valles (Hérault, Aude, Rhin, suelos por encima de la carretera nacional en la Côte d'Or) que eran demasiado nutritivos a nivel superficial pero estaban mal aireados en profundidad, favoreciendo por ello los arraigos superficiales y los sabores de varietales.

Cuanto más profunda es la raíz, más lejos está de los abonos, más extrae los elementos nutritivos del terruño y más garantiza una alimentación hídrica regular.

I.1.4.2. Características de la fauna del suelo

En los grandes vinos siempre observamos, en contacto con la roca madre o las arcillas de profundidad, una fuerte necromasa radicular que sirve de alimento a la fauna endógena (ácaros, colembolos y gusanos). Esta multiplicación de la fauna en profundidad va acompañada de una gran porosidad biológica (galerías) y de un incremento de la actividad biológica junto a la roca. Dicha actividad permite la formación de elementos asimilables por la vid y propios del terruño.

I.1.4.3. Características microbiológicas

Nuestras observaciones microscópicas demuestran que la microflora dominante de los suelos de los viñedos no siempre es la misma. En ciertos suelos dominan los hongos, y en otros las bacterias. Ciertos grupos bacterianos pueden ser muy abundantes, como las siderobacterias en los suelos de Burdeos o las bacterias del ciclo del calcio en los suelos de Chablis o de Champagne.

Nuestras mediciones de la actividad microbiana de los suelos de los viñedos demuestran que la actividad depende de la superficie específica de las arcillas, del tipo y el contenido de carbonato de calcio, y de la cantidad y calidad de los humus del suelo.

Por lo general, las prácticas vitícolas actuales desembocan en un desplome de la actividad biológica de los suelos de los terruños. En algunos suelos vitícolas, hemos observado actividades biológicas inferiores a las de los suelos del Sahara.

Por el contrario, en los viñedos que se han pasado a la viticultura biológica, se observa una recuperación

de la actividad biológica y una mejora del descenso radicular.

En los terruños cultivados con agricultura biodinámica es donde observamos las mejores actividades biológicas en la profundidad de los suelos.

Eso se traduce en mayores contenidos de elementos del subsuelo asimilables.

I.1.5. Conclusión

Esta rápida presentación del papel del suelo en la tipicidad del terruño pone de manifiesto que este último no es un mito, contrariamente a lo que pretendían numerosas afirmaciones procedentes del Nuevo Mundo.

Esta intervención del suelo en la tipicidad de un terruño se produce a nivel físico del suelo a través de la C.E.C. que proporciona cationes a la raíz de la viña. Este suministro depende directamente de la superficie específica de las arcillas del terruño. También se opera a través de la estructura superficial y profunda del suelo, que permite una buena circulación del oxígeno y del agua en profundidad hasta las raíces.

Esta acción del suelo sobre el terruño se traduce asimismo a través de la biología del suelo, pues son los microbios del terruño los que producen los óxidos asimilados por las plantas.

Desde luego, dichos óxidos sólo se pueden formar en un suelo bien aireado; pero esa aireación la asegura la fauna.

Integrando y aplicando los nuevos conocimientos adquiridos en materia de biología de los suelos es como podemos mejorar nuestra comprensión de los terruños y desarrollar prácticas vitícolas capaces de respetarlos.

El factor que limita la mejora de la calidad de los vinos ya no es la vinificación, sino el suelo, y será respetándolo como sacaremos mayor partido de los terruños.

"Menos química y más vida en nuestros suelos vitícolas" debe ser el lema del viticultor del futuro.

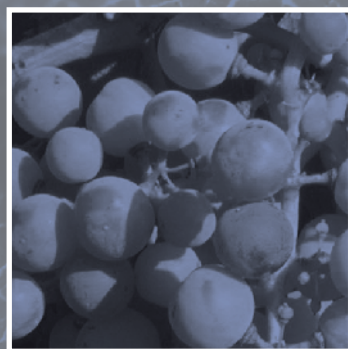
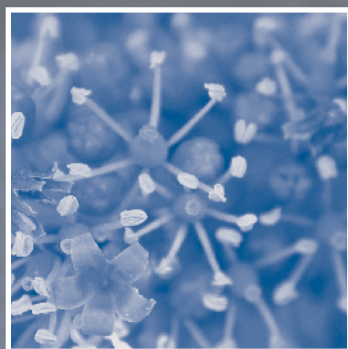
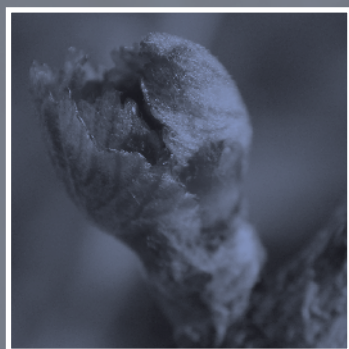
I.1.6. Referencias bibliográficas

MORLAT R., PUISSANT A., ASSLIN C., LEON H. et REMUDE M. (1981). Quelques aspects de l'influence du milieu édaphique sur l'enracinement de la vigne, conséquence sur la qualité du vin, *Sc. Du sol*, 2, 125-146.

MERIAUX S., CHRETIEN J., VERMI P., LENEUF N., 1981 Bull, SCI, Bourgogne t 34.



I.2. “¿Mil millones de hectáreas esterilizadas en un siglo?” ¡Ya es hora de cuidar los suelos!”



13	I.2.1. La Tierra es el único planeta que...
16	I.2.2. El medio planetario
16	I.2.3. Hacia una nueva revolución verde
19	I.2.4. Conclusión



Claude BOURGUIGNON
Lydia GABUCCI-BOURGUIGNON
Laboratorio de Análisis Microbiológico del Suelo

Lydia, ingeniera agrónoma, y Claude, microbiólogo, son directores del Laboratorio de Análisis Microbiológicos de los Suelos (LAMS) de Borgoña. Desde los años 70, defienden contra viento y marea la ciencia de la microbiología de los suelos... Hemos tenido un encuentro a estos "médicos de la tierra" de mente prospectiva, en quienes confían hoy los grandes vinos de Francia. El saber y los conocimientos específicos de Claude están reconocidos en toda Latinoamérica. Claude Bourguignon procede de una familia de grandes médicos de Borgoña, y su hermana es nada menos que la mismísima Anémone...

Los 2 son ingenieros agrónomos. Se conocieron en el INRA en los años 70. Lydia despertó una sensibilidad distinta en Claude. Ambos decidieron hacer investigaciones en microbiología de los suelos. "¡Estás loco, eso no es un proyecto de carrera!" le dijeron entonces a Claude. Pero siguieron adelante. Como en el INRA los marginaron, se marcharon de ese instituto y fundaron su propio laboratorio de investigación, el LAMS (Laboratoire d'Analyses Microbiologiques des Sols). Vinieron años duros, muy duros. Viajan mucho a Latinoamérica, difundiendo su planteamiento, aprendiendo. Hoy, el profesor Claude Bourguignon está solicitado en toda Francia.

Tiene una agenda cargadísima. En él confían los grandes vinos (entre ellos Taittinger, Voste Rosmanée...). Se publican artículos sobre él en Cultivar, la revista francesa de alta tecnología agraria, lo cual equivale a decir que sus conocimientos específicos han recorrido todos nuestros campos. Está solicitado hasta por el Banco Mundial, del que es asesor desde hace varios años. Profesor de humus con ademanes de Indiana Jones, fue alumno del profesor Jean Keilling (el ingeniero agrónomo que exculpó a Marie Bénard en el proceso penal por las transfusiones con sangre contaminada) y que en los años 50 ofrecía por todo el mundo sus famosas "Conferencias económicas del Humus". Hoy, con Lydia y Claude Bourguignon trabaja además uno de sus hijos, que les ayuda a dirigir el laboratorio. El humus sigue siendo la clave de la salud de los pueblos. La microbiología, ciencia de los suelos tan desdeñada por los defensores de la alta tecnología, recupera sus derechos de ciudadanía. Y es urgente que lo haga, una urgencia que se mide en función

del número de hectáreas perdidas cada año: nada menos que 225.000 hectáreas anuales. Se mide aún mejor a la luz de otra cifra que da mucho que pensar: en un siglo, la agroquímica ha esterilizado 1.000 millones de hectáreas de tierras fértiles, es decir un 25% de las tierras cultivables del planeta. En Estados Unidos, esta cifra se incrementa hasta el 28%. El profesor Bourguignon declara: "Los suelos no pueden más. Se están rindiendo. ¡EN TODAS PARTES! ¡Hay que ocuparse de ellos! De lo contrario, asistiremos a una reaparición de las hambrunas a una escala sin precedentes en la historia de la humanidad". Descendiente de una familia de grandes médicos de Borgoña, Claude también es hermano de Anémone. Ante los grandes dramas y pandemias de origen agrario, Lidia y Claude Bourguignon utilizan una expresión que hoy en día resulta incluso más elocuente que antaño: "¡En cierto modo somos los Médicos de la Tierra!"

Es cierto. Y la Tierra los necesita mucho.

Catherine CÉLIMÈNE & Guy DEFFEYES

I.2.1. La Tierra es el único planeta que...

por Lydia & Prof. Claude BOURGUIGNON

Claude Bourguignon: La Tierra es el único planeta que tiene un suelo. El suelo es una materia viva compleja, más compleja aún que el agua o la atmósfera, que son medios relativamente sencillos. El suelo no representa un volumen importante en nuestro planeta, pero es extraordinario. Aunque sólo tiene un promedio de 30 centímetros de espesor, alberga el 80% de la biomasa viva del planeta. Pesa 50.000 veces más que todo lo que vive en la superficie de la tierra. Es el único medio procedente de la fusión entre el mundo mineral de las rocas madre, y el mundo orgánico derivado de la vida en la superficie de la tierra. Sólo el planeta Tierra posee ese medio, que alberga más seres vivos que todo el resto de su superficie. Es algo que no se ve. A escala planetaria, existen 2.500 especies de gusanos, y pesan tanto como todos los demás animales del mundo. Los Antiguos hicieron bien en llamar "Tierra" a este planeta. Sólo hay un planeta que posea un suelo, y es el nuestro. Es un medio totalmente excepcional, el más rico



de nuestro planeta. En un suelo vivo se cuentan en torno a 1.000 millones de microbios por gramo... ¡Y hemos desdeñado ese mundo microbiano, cuando no cuesta nada! Sobre el microbio pesa un enorme tabú: en nuestra sociedad está muy mal visto. En la visión de Pasteur, es la causa de muerte principal. ¡Y sin embargo las bacterias fijan (gratis) el nitrógeno del aire para producir nitratos por sí mismas! Como hemos visto, el suelo está formado por materias orgánicas y arcillas. Antaño, los hombres lo mantenían aportándole materia orgánica – el famoso estiércol de los Antiguos. También se mantenía aportando las arcillas llamadas “margas”. Desde hace varias décadas, nos contentamos con nutrir las plantas con abonos y con untarlas de pesticidas remanentes, y nadie atiende al suelo. Con tantas agresiones químicas y mecánicas cada vez más potentes, las tierras se agotan. La consecuencia es una caída de los rendimientos, que entre 1950 y 1984 aumentaban un 3%, menos del 1% entre 1984 y 1994, y la mayor parte de las cifras disminuyen desde 1995, sobre todo por lo que se refiere al rendimiento de los cereales... Esto también es válido para los Estados Unidos, donde, según la FAO, ya se ha esterilizado el 28% de las tierras cultivables. Nos preocupamos mucho por la atmósfera y el agua, pero nadie habla del suelo. En los años venideros será fundamental ocuparse del suelo. ¡En todas partes están abandonando la partida! Hay que desarrollar una verdadera política nacional de protección de los suelos, mediante el humus reconstituido. Y de momento no se está haciendo nada parecido.

El cultivo intensivo conduce a la hambruna

Hoy se aborda la agricultura desde un punto de vista financiero. Nos preocupamos por el número de hectáreas y de cabezas de ganado que tenemos y que nos permiten conseguir subvenciones y facilidades para la exportación. Lo cuantitativo prima sobre lo cualitativo, con varios efectos temibles diferidos y oficialmente reconocidos, tanto en Francia como en otros países. Pero el planeta tiene 90 millones de habitantes más cada año. Si no somos capaces de incrementar nuestros rendimientos, de aumentar la producción mundial de cereales por ejemplo, cuando la población aumenta a ese ritmo, vamos derechos a la hambruna. ¡Y eso que en los años 70 nos anunciaron la solución de todos los problemas alimentarios de la Humanidad! Esta observación científica es preocupante. Demuestra que el espectro de las grandes hambrunas no está totalmente conjurado en Europa ni en ninguna otra parte. Si repasamos la historia de la Humanidad, vemos que ha atravesado fases de grandes hambrunas. Al principio, durante varios millones de años, vivió de la caza y la recolección. Los hombres no cultivaban la tierra y no conocían el hambre, de hecho trabajaban muy poco, unas 2 horas al día los más ricos y 4 horas al día los más pobres. Eran vidas llevaderas. En efecto, la tierra es lo bastante generosa como para alimentarlos, siempre que su

densidad sea reducida. Pero cuando hace unos 8000 años el hombre creó las primeras civilizaciones agrarias, empezó a descubrir qué era la hambruna. Pasar del estado salvaje a la domesticación resulta muy difícil, pues cuando el hombre labra la tierra, desencadena fenómenos que no sabe controlar. Por ejemplo los fenómenos de erosión que enseguida provocaron hambrunas en la cuenca mediterránea, donde los hombres habían arruinado la tierra.

Del trigo a la vid, de la abundancia al desierto

Conocemos bien la secuencia de cultivos practicada por los romanos a medida que se iban agotando los suelos. Se empieza por el trigo, luego se pasa a otros cereales menos exigentes, sobre todo el centeno, y luego el suelo ya no soporta los cereales y se pasa a cultivar frutales como los almendros, los olivos, y por último la vid. Cuando se dedica una tierra al cultivo de la vid, significa realmente que el suelo no puede dar nada más... En el siglo XIX, en el mismo momento en el que el ser humano encuentra un equilibrio con el medio que lo rodea, y por fin consigue alimentarse de esa tierra que cultiva él mismo, irrumpe la química que sustituirá el policultivo y la ganadería de Sully, factores de equilibrio. Desde entonces no ha dejado de matar suelos. Hoy, perdemos un promedio de 10 toneladas de suelo por hectárea y año. Si echamos cuentas, comprendemos que dentro de menos de 300 años, el planeta entero se habrá convertido en un desierto.

Hay que reaccionar ahora

No hace falta ser profeta para adivinarlo... Todo lo que los ecologistas serios vienen anunciando desde hace 30 años se está cumpliendo hoy. En estos momentos nos estamos jugando el futuro de nuestra civilización. Estamos librando la batalla decisiva de Occidente. ¿Qué pasará si no hacemos nada? Que Occidente se derrumbará por falta de autocrítica, de cuestionamiento profundo ante sus errores. Si es así, si no reaccionamos como es debido, Occidente morirá como han muerto todas las civilizaciones: por destrucción de los suelos. Como los imperios de Babilonia, de Roma, de los Mayas. Para evitarlo, sólo hay que pensar en Kant, para quien “una cosa es moral cuando es generalizable al conjunto de la humanidad.”

Convertirse en los Kant de la agricultura actual

Pero veamos qué está pasando hoy: los americanos consumen 800 kg de cereales por persona y año. Si tomamos la producción actual de cereales en el mundo y multiplicamos esos 800 kg por 5.600 millones de habitantes, observamos que podemos alimentar a 1.000 millones de ellos, lo cual significa que según el modelo americano, hay que dejar morir de hambre a 4.600 millones de habitantes, lo cual no es impensable.

Si tomamos la alimentación de un país más razonable, como es la de Italia –que consume 400 kg de cereales por habitante- nos alcanzaría para alimentar a unos 3.000 millones de habitantes.

Pero si tomamos lo que producimos actualmente en el mundo y lo dividimos por los 6.000 millones de habitantes existentes, nos damos cuenta de que vamos hacia el sistema indio, es decir unos 200 kg de cereales por habitante y año. Y ya sabemos cómo comen los indios: muy poca carne, más o menos una vez al mes, y fundamentalmente arroz, es decir una alimentación muy frugal. ¿Estamos dispuestos los europeos a aceptar esa alimentación frugal? Esa es la pregunta que hay que formularse, y entonces entraremos en una situación “moral”, tanto más por cuanto, aunque sólo sea a nivel económico, nuestra agricultura industrial no es generalizable. ¿Hace falta una prueba? ¿Si el nitrógeno industrial tuviera que aportar a todas las tierras de labranza la cantidad de nitrógeno que consume Francia, no bastaría toda la flota mundial para transportar el nitrógeno en cuestión! Es imposible... De modo que hay que cambiar de agricultura. Porque las autoridades se guardan muy mucho de decir a los franceses que con nuestro sistema alimentario, en los países ricos hace falta una hectárea de tierra cultivada por persona para comer. Mientras que sólo quedan 2600 m² de tierras de labor por habitante. ¿Entonces? Significa que si nosotros consumimos una hectárea, es que hay seres humanos que no comen. Es una aritmética sencilla, pero por desgracia cierta. ¿Por qué? Pues porque en el planeta Tierra quedan 3 hectáreas por habitante, teniendo en cuenta todas las tierras, desde el desierto del Sahara hasta los polos. Y de esas 3 hectáreas se saca con qué vestirse, construirse una casa, un coche, etc. Así que de esas tierras quedan 2600 m² cultivados para comer. Y de ellas, en la actualidad desaparece cada año el equivalente a la superficie de Francia debido a la erosión. Se habla de fatiga de los suelos; tengamos el valor de aportar los remedios, porque los hay.

La agricultura viva es la que enriquece los suelos. “Enriquecer” significa restituir. Para el agricultor, es el equivalente del mantenimiento del material productivo para un industrial: el suelo es lo que produce, de modo que hay que mantenerlo. Para fertilizar, transformamos los residuos orgánicos en compost, se cultiva abono verde y se hacen rotar los cultivos para favorecer los microbios de las raíces, y se reponen los elementos utilizados. Según el análisis de los suelos, esta civilización no dura ni 30 años más. Pero el problema no es técnico. El problema es mucho más sutil. Porque la Tierra es muy sutil. No es sencillo alimentar a los hombres. Requiere respeto, y humildad, cualidades de las que precisamente carece nuestra sociedad enferma. Hay que: a) volver a plantar setos en un mallado de 20 hectáreas; b) reforestar los suelos sensibles, y c) gestionar la materia orgánica de las ciudades, aparte de la basura industrial, para poder volver a aumentar la tasa de materia orgánica de los suelos. Lo único que

puede salvar a la humanidad de las grandes catástrofes es la agricultura biológica y la auténtica biodinámica. Porque su enfoque es local y global al mismo tiempo. Un nuevo arte de la ciencia, un nuevo arte de convivencia tanto en el campo como en la ciudad. ¡El Sentido Común! El amor. ¡Sí, me atrevo a decirlo, el amor! Durante los 15 últimos años se han creado varias cátedras de biodinámica en diversas universidades, de Estados Unidos, Alemania, Dinamarca sobre todo. La visión de la agricultura biológica desemboca en el nacimiento de verdaderas universidades ecológicas rurales y urbanas. En Francia todavía no hemos llegado a tanto, y desde luego lo deploro... la gran fractura que toda nuestra historia esconde es la relación con la tierra, con la mujer. La tierra necesita respeto. La tierra echa de menos labradores de calidad que la cortejen y la cultiven con los cuidados que merece. Pero por desgracia, los hombres ya no quieren trabajarla y enriquecerla, porque ser labrador se ha vuelto degradante en términos de imagen social. Y sin embargo la destrucción de los suelos agrícolas es el mayor problema al que se enfrenta la humanidad en este comienzo de siglo. No se puede disociar la calidad del agua y del aire de la calidad de los suelos. La máxima urgencia consiste en detener la erosión de las tierras de labranza.

“Habla con la Tierra y Ella te enseñará”

(proverbio celta favorito de Lydia Bourguignon)

Lydia Bourguignon: Los agricultores deberían tomar ejemplo de los vitivinicultores, que hace un siglo eran simples viticultores que producían racimos de uvas que luego llevaban a las cooperativas sin pensar en el producto terminado, en el vino. Y eso que en aquella época había muchos problemas con el vino, por entonces los consumidores ya empezaban a mostrarse más exigentes con respecto a su calidad y su sabor. Los viticultores acabaron por hacerse preguntas, y a raíz de esa reflexión se convirtieron en verdaderos vitivinicultores, que han ido desde la uva hasta el vino. En la actualidad, agricultores como los que se dedican al cereal, por ejemplo, solo producen trigo, la mayoría de las veces imposible de panificar (porque es de pésima calidad) que depositan en las cooperativas desentendiéndose del resto del proceso. ¿Por qué el agricultor no recupera también el control de toda la cadena de principio a fin? Ahí reside la solución a sus problemas y a los de la sociedad. También es una manera de responder a las exigencias de calidad de un número creciente de consumidores deseosos de conseguir productos terminados (de gran valor añadido) con el sabor de la tierra, y de aliviar la tensión de la competencia de los productos uniformizados.

ABCD Presse: Su laboratorio de análisis microbiológico de los suelos es único en Francia. Cuando emiten un diagnóstico difícil para un agricultor, ¿qué es lo que ocurre?



Lydia Bourguignon: Me gusta mucho el término diagnóstico, porque es cierto que se nos podría comparar con médicos de la Tierra. Y para el agricultor, no siempre es fácil escuchar que su suelo está en mal estado, que su tierra está prácticamente... muerta. Y, como ocurre con los enfermos, creo yo, se dan dos tipos de reacción. Por un lado está el que se queda totalmente abatido y no hace nada, cierra la carpeta y se olvida del asunto. Pero luego hay otros que toman cartas en el asunto, que siguen los consejos que se escalonan a lo largo de 1, 2, 3 años. Porque cuando un suelo está muerto, es impensable pretender ponerlo de nuevo en marcha en un año; eso no es posible en nuestras latitudes. De hecho, para el agricultor es una labor a largo plazo. Pero si es capaz de tener un poco de paciencia, la vida vuelve. Además, los consejos que le damos no son muy costosos. Procedemos a enriquecimientos de compost o de arcilla, que no son productos caros. Al agricultor le salen las cuentas, y a la agricultura también... Los agricultores a quienes seguimos desde hace años tienen suelos cada vez más vivos; las actividades biológicas se han recuperado, han aumentado las capacidades de intercambio entre el suelo y la planta - y lo cierto es que el agricultor está satisfecho. Así que de verdad hay esperanza. También creo que en la actualidad son las mujeres... Las mujeres vuelven. Nos damos cuenta en el laboratorio y en la demanda creciente de los agricultores. Cuando estamos con el agricultor y la agricultora juntos, la mayoría de las veces es la mujer quien pide que se proceda a un análisis, que se modifique la forma de gestionar su suelo. Y creo que las mujeres agricultoras están mucho más sensibilizadas al tema del futuro de sus hijos. Vuelven al respeto por la Tierra.

1.2.2. El medio planetario

por Lydia & Prof. Claude BOURGUIGNON

La erosión de los suelos es un problema preocupante. En 6000 años de agricultura, el hombre ha provocado 2.000 millones de hectáreas de desierto, 1.000 millones de ellos sólo en el Siglo XX. En la actualidad, la intensidad de la erosión aumenta en 1 tonelada por hectárea y año.

El resultado es la producción de 10 millones de hectáreas de desierto al año. Deforestamos 17 millones de hectáreas de bosque al año, sobre todo en las zonas tropicales y ecuatoriales. El saldo es de más de 7 millones de hectáreas de nuevas tierras de labor al año. La población aumenta 90 millones al año. Es decir que se ponen en cultivo 700 m² de tierra por cada nuevo habitante. Según la definición de la FAO, es la superficie de la hambruna. Actualmente, cultivamos 1.700 millones de hectáreas para 6.000 millones de habitantes, es decir menos de 3.000 m² por habitante. Pero los países desarrollados consumen más: Francia 6000 m² por habitante, Estados Unidos 8000 m² por habitante. A consecuencia de ello, más de 1.000 millones de habitantes están subalimentados. Este escándalo no puede durar eternamente.

Hay que aprender a cultivar la tierra sin erosionarla. Jamás se ha conseguido hasta ahora. Ese es el gran desafío del Tercer Milenio.

1.2.3. Hacia una nueva revolución verde

por Lydia & Prof. Claude BOURGUIGNON

Introducción

La primera revolución verde, con las variedades mejoradas, los pesticidas sintéticos y los abonos, ha provocado un grave deterioro de los suelos en todo el mundo. En vista del rápido crecimiento de la población mundial, urge desarrollar una nueva revolución verde. Ésta debe ser global e interesar a los 4 pilares de la agronomía: el trabajo del suelo, la genética, los pesticidas, los abonos.

Esta revolución verde requiere 2 cambios profundos por parte de los agricultores y de los agentes de la agricultura:

- cambio de prácticas agrarias
- cambio de mentalidad

Algunas cifras sobre la erosión de los suelos

País	Año	En Tn/Ha de Superficie Agraria Útil al año
Francia	1980	20 toneladas
Francia	1990	30 toneladas
Francia	2000	unas 40 toneladas
España	2000	60 toneladas
Norte de África	2000	100 toneladas
Países tropicales	2000	500 toneladas

Un cambio agrario global

La agricultura tiene que cambiar los 4 pilares de la agronomía:

I. La genética

II. Los pesticidas

III. La labor del suelo

IV. Los abonos

I. La genética

La industria innova mucho (informática, robots, etc.)

La agricultura es conservadora y sigue cultivando las mismas plantas y criando los mismos animales que en tiempos de nuestros antepasados.

Habrà que introducir nuevas plantas y nuevos animales en la agricultura para gestionar la biodiversidad.

Existe un millón de especies animales; sólo 100 de ellas están domesticadas.

Existen 250.000 especies vegetales; sólo se cultivan 250 de ellas.

Hay que mejorar genéticamente las nuevas especies de plantas para:

- Sacar provecho de los suelos pobres;
- Proteger los suelos contra la erosión (cultivos de protección, de cobertura ...);
- Aportar nuevas soluciones de sustitución del ganado;
- Reciclar los abonos para luchar contra la contaminación de las aguas subterráneas;
- Hay que seleccionar y mejorar nuevas especies de plantas de cobertura adaptadas a las diversas zonas agrarias;

Es necesario mejorar genéticamente nuevas especies animales para:

- Sacar provecho de las zonas desérticas con especies de antílopes que no beben;
- Sacar provecho de las zonas tropicales húmedas de África con ayuda del búfalo africano y de los antílopes africanos resistentes a las enfermedades, etc.

II. Los pesticidas

Tras tanto abusar de estos productos, hay que utilizar los 3 métodos de futuro:

- Lucha razonada
- Volúmenes reducidos
- Reducción de las dosis

No se trata de exterminar los parásitos al 100%, sino de limitar su población a un nivel económicamente viable.

Los herbicidas se pueden utilizar no como defoliantes totales, sino como moléculas que permiten gestionar plantas de cobertura permanentes. Entonces se convierten en un aliado de las técnicas de siembra directa. Una vez reequilibrados los suelos, se pueden reducir las dosis de fungicidas e insecticidas.

Es necesario desarrollar biopesticidas producidos directamente por los agricultores.

Por ejemplo:

- Insecticidas: neem, pelitre
- Herbicidas: plantas de cobertura con un fuerte poder alelopático
- Nemátodos: crucíferas, centeno, etc.

III. Los abonos

Hasta ahora la industria ha vendido abonos solubles que no son adecuados para las condiciones climáticas de los trópicos. Las empresas tienen que desarrollar abonos poco solubles y no tóxicos para las plantas, con el fin de que se puedan aplicar en el momento de la siembra, en contacto con la semilla. Es necesario desarrollar biopesticidas producidos directamente por los agricultores. Con la técnica de siembra directa con cobertura, se incrementa el contenido de humus del suelo y por ende la capacidad de intercambio en acción. Entonces se pueden ahorrar los abonos positivos (cationes) K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ .

Con la siembra directa, se incrementa la actividad microbiana de los suelos. Ahora bien, los microbios producen abonos negativos (aniones): NO_3^- , SO_4^{2-} , PO_4^{3-} .

Entonces se puede reducir la cantidad de abono, y por ejemplo bajar a 1 kg de nitrógeno para producir 100 kg de cereales.



La utilización de plantas “bomba” permite hacer aflorar de nuevo los abonos arrastrados a la profundidad:

- la eleusina corocana o mijo africano (para el magnesio)
- el sorgo (para el calcio, el potasio)

IV. El trabajo del suelo: la siembra directa

Desde los comienzos de la agricultura, el hombre ha trabajado la tierra para combatir las “malas” hierbas, puesto que no tenía ni abonos, ni herbicidas.

La agricultura nunca se ha planteado la pregunta:

“¿Por qué existen las malas hierbas?”

Porque el suelo desnudo está expuesto a la erosión, y la evolución ha desarrollado un sistema de “cobertura permanente” del suelo.

Ahora que tenemos abonos para nutrir nuestras plantas, y herbicidas para mantener a raya a las adventicias, podemos desarrollar una agricultura “con cobertura”.

El agricultor de mañana ya no será el que gane los concursos de laboreo, sino el que sea capaz de sembrar sus cultivos con una “cobertura temporal o permanente”.

Para detener la erosión, hay que inspirarse en los modelos de vegetación silvestre, (clímax) pues éstos son perennes.

A. Para desarrollar esa técnica de siembra directa con cobertura, hay que respetar tres reglas:

1. llevar a cabo una investigación-acción para, con y en las tierras de los agricultores (. Seguy, 1997)
2. Las parcelas deben dar resultados a corto plazo:
 - Facilidad de ejecución de la siembra directa.
 - Ahorro de tiempo de trabajo y de insumos.
3. Asegurar resultados a largo plazo:
 - Perennidad del sistema (ensayos de larga duración).
 - Incremento y mantenimiento de la fertilidad del suelo.
 - Mejora de la calidad de las producciones.

4. Estas parcelas de demostración deben enseñar la siembra directa con cobertura muerta y con cobertura viva así como sus interacciones.

B. Para implantar esta técnica de siembra directa, hay que seguir el protocolo siguiente:

1. Diagnóstico del suelo

- Si el suelo está compactado (deterioro físico), hay que intervenir mecánicamente: rascar a una profundidad de 15 a 25 cm, o aplicar la técnica Zai e instalar muy rápidamente la planta de cobertura.
- Si el suelo está químicamente agotado, hay que esparcir abono orgánico (compost) o mineral (cenizas, abonos químicos) sobre la planta de cobertura.
- Si el suelo está deteriorado biológicamente, hay que elegir una leguminosa de cobertura para reanudar la actividad biológica en la superficie, y una gramínea de cobertura para reanudar la actividad biológica en profundidad.

2. Implantar una técnica de siembra directa adaptada:

- al clima local;
- a los cultivos anuales o perennes;
- a la presencia o la ausencia de ganado.

C. Función del árbol en la siembra directa con cobertura

El árbol es imprescindible en los sistemas agrarios de mantenimiento de la fertilidad de los suelos. El árbol desempeña 5 funciones fundamentales:

1. El equipo de Lenton y Hamilton (Instituto de Zoología de Oxford) ha demostrado que todos los árboles salvo el eucalipto y los resinosos propician la lluvia mediante la emisión de microbios que sintetizan dimetilsulfido que favorece la coalescencia de las gotas de agua de las nubes.
2. Los árboles protegen los suelos contra la erosión hídrica y eólica. A tal efecto, hay que disponer setos:
 - a lo largo de los ríos para conservar su limpieza.
 - a lo largo de las carreteras para que beban el agua no absorbida por el alquitrán o la pista.

- en los puntos de convergencia de las pendientes (Thalweg).
3. Los setos de árboles desempeñan 2 funciones:
 - el seto defensivo para proteger la parcela contra el ganado.
 - el seto utilitario: leña, frutales, madera de obra, forraje para los animales.
 4. El árbol del Sahel

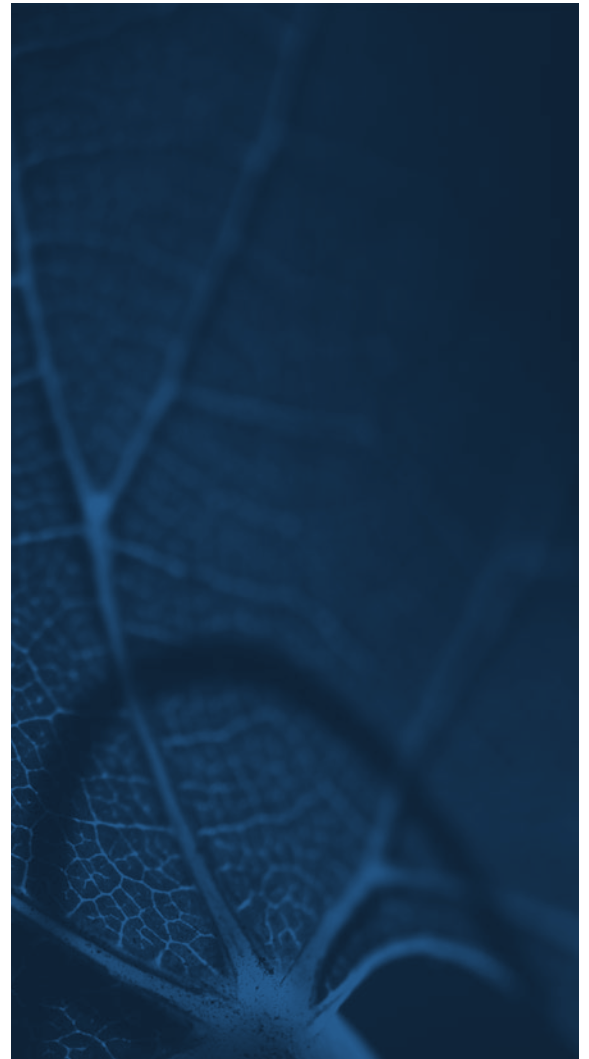
2 especies, como la Acacia Albida, tienen hojas en la estación seca y proporcionan forraje a los animales y sombra en el suelo. En la estación húmeda, pierden sus hojas y permiten cultivar plantas comestibles a su pie.

I.2.4. Conclusión

Esta revolución verde, por el cambio de mentalidad que representa, requiere un esfuerzo general por parte de la sociedad humana para desarrollarse.

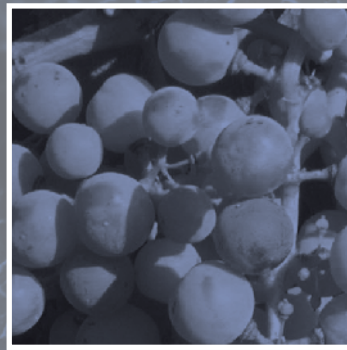
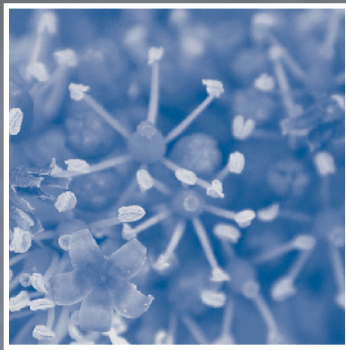
En esta nueva revolución verde se deben implicar todos los colectivos: políticos, investigadores, docentes, divulgadores y labradores.

Sólo así podremos responder al desafío del nuevo milenio: la reconciliación del hombre con su planeta Tierra.



I.3. ENTREVISTA

Claude Bourguignon, microbiólogo de los suelos





En su calidad de especialista de la vida de los suelos, ¿puede usted estimar qué porcentaje de suelos de Francia están afectados por la contaminación (y en qué proporción)?

Claude Bourguignon: un 10% de los suelos está contaminado por metales pesados. Un 60% sufre erosión. El 90% tiene una actividad biológica demasiado reducida, y en especial una tasa de hongos demasiado escasa. Lo mismo ocurre en todo el mundo. Además, en la horticultura y en el cultivo de la remolacha se deja el fenómeno de fatiga de los suelos (disminución de los rendimientos).

Para usted, ¿qué es un suelo?

Claude Bourguignon: El suelo es una materia viva compleja, más compleja aún que el agua o la atmósfera, que son medios relativamente sencillos. En realidad, el suelo es un medio minoritario en nuestro planeta: en promedio, sólo hay 30 centímetros de espesor. Es el único medio procedente de la fusión entre el mundo mineral de las rocas madre y el mundo orgánico de la superficie – los humus. Tendré que ser un poco técnico para explicárselo...

En sus 30 centímetros de espesor, el suelo alberga el 80% de la biomasa viva del planeta. Y en ese suelo tan delgado hay muchos más seres vivos que en el resto de la de la superficie de la tierra. Pero eso no se ve. Es un mundo microbiano al que no se ha prestado ninguna atención puesto que no cuesta nada... Y sobre el microbio pesa un enorme tabú. Está muy mal visto en nuestra sociedad. Según la visión de Pasteur, es la principal causa de muerte. Y sin embargo los microbios son fundamentales para la vida. Sin esos intermediarios, las plantas no se pueden alimentar. En su funcionamiento, la industria humana se limita a copiar al microbio. El problema es la tremenda energía que cuesta hacerlo. Las bacterias de los suelos fijan el nitrógeno del aire para formar nitratos. ¡Y lo hacen gratis! En cambio, el ser humano utiliza 10 toneladas de petróleo para fijar una tonelada de nitrógeno. Que luego vende. Y cara. Olvidando decir que las moléculas químicas no fabrican un suelo. Es el agricultor quien fabrica ese suelo con sus manos. Entonces, claro está, la industria ha tenido interés en sustituir el modelo tradicional de la agricultura francesa. Y cuan-

do desarrollé mi método de medición de la actividad biológica de los suelos, me percaté de la realidad. Los agricultores biológicos o biodinámicos tienen suelos mucho más activos que los que trabajan de forma convencional. Tienen suelos vivos.

¿Fue entonces cuando comenzaron sus dificultades con el INRA?

Claude Bourguignon: Exactamente. ¡El INRA ha rechazado frontalmente la agricultura biológica, biodinámica, sin haberla estudiado jamás! A la luz de la deontología científica, es una falta profesional grave por parte de este Instituto. Y es ahí donde ha perdido su libertad. Ya no es realmente un instituto estatal: es un instituto al servicio de las grandes empresas proveedoras de abonos. Más de la mitad de los pedidos de tesis al INRA proceden de esas compañías. Ciertamente es que ese no es el caso exclusivo del INRA: al final todos los institutos mundiales se han dejado dominar por los mercaderes. Lo cual no significa que los investigadores del INRA estén encantados con la situación. De hecho, varios de ellos lo llevan muy mal. En la actualidad, el INRA se está asustando porque el mundo agrario, entre otros, empieza a pedirle cuentas. Ayer, las investigaciones favorables al medio ambiente no eran un sector dinámico. Hoy sí que lo son, porque hay partidas presupuestarias de la CEE y mercados por conquistar. Creo que dentro de 10 años, el INRA asegurará que siempre ha estado a favor de la agricultura biológica. De aquí a 30 años, recordará que siempre defendió la biodinámica. Tanto mejor. Eso demostrará que por fin habremos conseguido trabajar juntos para resolver el verdadero problema: la contaminación del planeta.

¿Cuál fue su planteamiento al comienzo de sus investigaciones?

Claude Bourguignon: Intenté comprender por qué algunos suelos estaban más vivos que otros. Es algo que varía en función de los modos de cultivo elegidos. Tradicionalmente, se fertilizaba el suelo con humus, arcilla y se hacía abono con marga utilizando un ligante, a menudo calcio. Se mezclaba todo ello con compost, y se esparcía sobre el suelo. Los abonos verdes, por su parte, favorecían los microbios mineralizadores. Los microbios "intermediarios" vivos a

proximidad de las raíces de las plantas, se fertilizaban mediante la rotación de las especies vegetales cultivadas. Por último, los microbios vivos que se encuentran cerca de las rocas madres recibían el estímulo de las rocas machacadas. Hoy, se han abandonado esas técnicas. Se practica el monocultivo... Ya no se practica la fertilización. Este modo de producción niega la vida microbiana. Y hoy, la producción se estanca, cuando no disminuye. Mis informes de actividad biológica indican que los suelos cultivados con abonos químicos mueren poco a poco.

¿Cuál es su visión de la relación entre el hombre y la tierra, y la agricultura?

Claude Bourguignon: La agricultura es ante todo la historia trágica de 15.000 años de hambruna. En sus tiempos de recolector, el hombre respetaba a la Tierra, la consideraba a su madre nutricia. Más adelante nace la agricultura. Pero no empieza a alimentar a los hombres hasta el Siglo XVIII. El imperio romano nace y luego desaparece, sus suelos quedan destruidos. Cinco siglos más tarde, Europa se unifica bajo Carlomagno, y entonces ataca su masa forestal, que había permanecido más o menos intacta hasta entonces, desde Galia hasta Polonia. En poco tiempo desaparece el 70% de los bosques... Montones de manuscritos de comienzos del siglo XIV describen tormentas aterradoras procedentes del mar, provocadas por la desaparición de los bosques que hacían de amortiguador climático. En el siglo XVII, Europa sale de esa pesadilla ecológica a través de la práctica del laboreo y el pastoreo. Se sustituye el barbecho por el cultivo de leguminosas que fijan el nitrógeno, aunque entonces eso se ignoraba. La innovación proporcionó forraje en abundancia para alimentar el ganado. Pero al ganado hay que vigilarlo para que deje de vagar por las tierras de labranza. Y así es como se inventan los setos. De hecho, se crea el bosque mallado. Los setos desempeñan un papel notorio en la restauración del equilibrio climático. Porque en lo sucesivo se recuperan los excrementos de esos animales inmovilizados en los prados, y, mezclándolos con la paja de los cereales, se obtiene estiércol. El estiércol se compostea y luego se esparce sobre las tierras. Es lo que se llama abonado por enriquecimiento de los suelos. Y entonces la gente deja de morir de hambre en Europa.

Pero en el mismo momento en que se resuelve el problema ecológico con la reintroducción del animal en el sistema agrario, llega la industria y lo echa todo a perder. En la actualidad, perdemos un promedio de 10 toneladas de suelo por hectárea y año. Los campesinos franceses utilizaban 120 millones de toneladas de estiércol para 30 millones de hectáreas. 4 toneladas de estiércol por hectárea generan 2 toneladas de humus. La función de ligazón se asegura con arcilla. Los suelos están equilibrados y siguen mejorando con el paso de los años.

El suelo es una materia viva. En la actualidad, perdemos un promedio de 10 toneladas de suelo por hectárea y año. Si echamos cuentas, sabremos que de aquí a 3 siglos esto será el desierto del Sahara. Hay que reaccionar ahora. La naturaleza reacciona con mucha fuerza. No importa. No es el fin del mundo. Yo no creo en los Apocalipsis. Las civilizaciones nacen, alcanzan su apogeo y desaparecen. Otras toman el relevo. Creo que tal como está estructurada esta civilización, será incapaz de hacer frente a su mayor problema, que es el problema del medio ambiente y de la Tierra. Antes, el problema era el de las opciones políticas, el ser humano, la existencia de clases sociales. Pero nuestro gran problema actual es único. Es la Tierra. Y la civilización no cambia, no afronta su muerte próxima.

Seguir negando este hecho nos conduce derechos al desastre. La agricultura ecológica a escala mundial es la garantía de una relación justa entre el ser humano y su entorno, de una alimentación sana y de una retribución justa del trabajo de cada cual. Y el cultivo biodinámico significa salvar a los países del Tercer Mundo de la hambruna, ¡sí, salvarlos! Pero actualmente la destrucción va demasiado deprisa. Un Ministro del medio ambiente no puede hacer nada frente a una compañía como Rhône-Poulenc que pretende vender sus moléculas sintéticas. Hay que amortizarlas. En investigación, está muy claro. Te pagan por contratos. Imaginen que voy a Rhône-Poulenc y les digo: me gustaría que financiaran ustedes un proyecto de investigación que tengo, demuestra que sus productos destruyen la vida de los suelos... ¡Se partirían de risa! Pero si conocieran el verdadero coste de sus carcajadas, recobrarían la seriedad y aceptarían inmediatamente...

Otro problema que se plantea es la capacidad de recuperación del nitrógeno industrial por la actividad microbiana el suelo...

Claude Bourguignon: El problema de la circulación de un elemento en el suelo está relacionado con su concentración. Si la concentración de un elemento es muy reducida, por ejemplo si ya no hay nitrógeno en los suelos, la movilidad del elemento será sobre todo una movilidad biológica, es decir que la vida se abalanzará sobre él porque es escaso. Desde luego la vida no lo dejará escapar ni muchísimo menos. En cambio, si un elemento se vuelve muy abundante, tendrá una movilidad física dominante, es decir que puede irse con el agua, sencillamente. ¡Como a la vida le sobra, no se va a entretener en acapararlo todo! De modo que lo deja pasar de largo, y el resultado es la contaminación ambiental. La ventaja del microbio es que trabaja al ritmo de las necesidades de la planta, puesto que trabaja al mismo tiempo que la planta. Cuando el suelo está seco, los microbios detienen su actividad y las plantas dejan de bombear el suelo. Cuando hace demasiado frío, los microbios no trabajan, pero las plantas tampoco

crecen. Como es un sistema vivo, y las bacterias también son plantas, funcionan en perfecta simbiosis. El hombre de la agricultura química, en cambio, aporta su nitrógeno en cualquier estación; a diferencia del microbio, no lo fracciona, y por lo tanto contamina. Lo cual hace que, "curiosamente", la gran mayoría de los agrónomos no sepa gran cosa de microbiología de los suelos. Porque no hay enseñanza. Desde la desaparición de la sección de microbiología de los suelos del Instituto Pasteur, en Francia no existe ninguna cátedra oficial de microbiología. El INRA ha dejado su sección en manos de un profesor que se interesaba sobre todo por la microbiología industrial, que está muy de moda. De ahí la ignorancia de la mayor parte de los agrónomos en materia de ciclos microbianos. Para ellos, sin abonos químicos, sin NPK, ¡el suelo está muerto! ¡Es más, para ellos el suelo no es más que un soporte inerte sobre el cual basta con esparcir soluciones químicas mágicas! Pese a que el fundador de la agricultura química, Justus Van Liebig, jamás dijo tal cosa. Se ha malinterpretado su discurso. La industria química ha tergiversado completamente sus palabras.

Liebig demostró de qué maneras las plantas absorben los elementos; demostró que la planta sólo puede absorber el nitrógeno en forma de nitratos, fabricados por los microbios. Jamás dijo que hubiera que aportar nitratos a los suelos. Demostró que la planta espera a que los microbios hayan fabricado nitratos para absorberlos. Demostró que la planta esperaba a que adoptaran la forma de fosfato, de sulfato. Las plantas esperan siempre formas electronegativas, por problemas de estrategia de absorción. El gran problema de la planta es que, a diferencia de nosotros, se nutre de un soporte de origen mineral donde dominan fundamentalmente la sílice (56% de las rocas madre), el hierro y el aluminio. La planta, por su parte, es muy pobre en hierro, sílice y aluminio. En cambio la planta es rica en nitrógeno, fósforo y sulfato, elementos escasos en la tierra. Por lo tanto, la planta se ve obligada a desarrollar una estrategia de absorción muy ingeniosa, la "absorción activa". No se puede dejar gobernar por las leyes de la química, según las cuales toda sustancia tiende a igualarse a sendos lados de una membrana viva. Si la planta se abandonara a esa ley, tendría la misma concentración que el suelo. Y no es así en absoluto.

Entonces, ¿qué hace? Utiliza un sistema de una inteligencia llamativa, un sistema utilizado de hecho por toda forma de vida en cuanto existen problemas de realización de intercambios eléctricos. La primera serie de los elementos de la tabla de Mendeleieff incluye los llamados cationes monoatómicos. Se trata de átomos portadores de una carga positiva. Esos elementos nunca son constitutivos de la materia viva, con excepción del hidrógeno, que se sitúa fuera de la tabla de Mendeleieff porque tiene un comportamiento muy especial.

¡Hace usted un poco de trampa! ¡Se trata del número 1! ¡El hidrógeno!

Claude Bourguignon: Claro que es el número 1. Y claro que funciona de manera distinta. Pero si tomamos el litio, el potasio, el rubidio, el cesio, vemos que todos ellos son perfectamente equivalentes y permiten que la planta se cargue positivamente. Por lo tanto, la planta tiene bombas que consumen energía acumulada en gran cantidad mediante la fotosíntesis. Gasta su energía en cargar positivamente las células de las raíces de cationes monoatómicos que no fabrican ninguna molécula viva. No existe ninguna molécula viva que contenga potasio, o que contenga sodio o litio. En cambio, esos elementos penetran muy fácilmente a través de las membranas. De hecho, figuran entre los escasísimos átomos que los seres humanos podemos ingerir en estado puro sin pasar por la forma orgánica. Lo mismo ocurre con la penúltima columna de la tabla de Mendeleieff, la de los aniones monoatómicos (cloro, flúor, yodo). Podemos ingerir puros todos esos elementos. Podemos comer NaCl - sal - y la absorberemos muy bien. Podemos tomar cloruro de potasio, y lo mismo. Son las únicas formas que pueden absorber todos los seres vivos.

De modo que la planta se carga positivamente, pero una vez que se ha convertido en el "más", ¿qué hace? Una vez convertida en una pila positiva, espera a que los microbios fabriquen el "menos". Éste podrá entrar aunque las concentraciones sean bajas en el exterior, porque para absorberlo va a crear una corriente eléctrica tan fuerte, que atraerá un ión negativo aunque sea muy escaso en el exterior; y así es como se alimentan las plantas.

Los microbios tienen 2 técnicas para fabricar elementos negativos. Tienen la técnica de la oxidación. Oxidan el nitrógeno convirtiéndolo en nitrato, el fósforo en fosfato, el azufre en sulfato, el selenio en selenato, el calcio en óxido de calcio, etc. Pero hay elementos oxidados que son insolubles, como el óxido de hierro. ¿Cómo ha resuelto la vida ese problema? Mediante un sistema muy ingenioso. ¡La quelación del elemento por el microbio! Toma el elemento y lo fija a una molécula orgánica. ¿Y qué molécula orgánica utiliza? Un ácido orgánico que es una función química de tipo CO-O, es decir una función negativa que podrá penetrar en la planta. Es una especie de pinza por así decirlo, que va a arrastrar el elemento al interior de la planta, que lo capta eléctricamente. Eso es lo que se llama "quelación".

Nos contentamos con copiar a la Naturaleza. Con industria y finanzas por añadidura. Y sin embargo, Justus Van Liebig recordó que la lata de conservas de Nicolas Appert era un alimento militar, para tiempos de guerra, de pruebas, transitoria pero en modo alguno preferible a un alimento fresco.



Claude Bourguignon: Sí, de emergencia. De hecho se comprende perfectamente que se haya extraído aceite en caliente durante la segunda guerra mundial, porque no había aceite para los franceses, es perfectamente comprensible. Pero que la industria oleícola haya mantenido el procedimiento de extracción en caliente cuando estaba prohibido antes de la guerra, eso es escandaloso. Con eso están ganando dinero a expensas de la gente, cuando ya no responde en absoluto a un problema de supervivencia. Se ha convertido en un problema de grandes cantidades de dinero.

Es exactamente igual que lo que pasó al terminar la primera guerra mundial. ¿Por qué se ha violado a los agricultores con los nitratos? Pues se debe al hecho de que los nitratos los había fabricado Haber en 1913. Haber encontró al fin la técnica que permitía tomar nitrógeno del aire y fabricar nitratos. Fue ese descubrimiento el que permitió a Alemania desencadenar una potencia de fuego increíble: los nitratos sintéticos permiten fabricar bombas sustituyendo el salitre. Con ello Alemania tendría nitrógeno en abundancia, todo el que quisiera. El nitrógeno constituye el 79% de la atmósfera. La vida microbiana del suelo y ciertas plantas captan el nitrógeno del aire, y lo hacen gratis. La industria, en cambio, construye fábricas que cuestan una fortuna. Y así es como Occidente se pone a fabricar nitratos mediante esas técnicas, y luego se desata una gran guerra mundial. Al terminar esa guerra, habrá que reconvertir esas fábricas que han costado tan caras. ¡No se pueden cerrar así como así! ¡Hay que amortizarlas! Y como Justus Van Liebig había demostrado que las plantas se alimentan de nitrógeno en forma de nitratos, enseguida se estableció la conexión. Al principio la cosa era razonable, como en la mayor parte de las intervenciones humanas. Durante el periodo de entreguerras, se recomienda una dosis de entre 20 y 30 kilos de nitrógeno por hectárea. No se violan los suelos. Los rendimientos aumentan de forma espectacular. Y luego, arrastrados por la ley del comercio, se pasó a 50, y después a 100, y ahora ya vamos 248 kilos de nitrógeno por hectárea. Actualmente, es un delirio. Y no crea que comparto las posiciones de los defensores más radicales de la agricultura biológica. Me parece normal que, por su inteligencia, el ser humano comprenda los mecanismos vivos y los perfeccione. Pero cuando se llega al extremo de aportar 248 kg de nitrógeno por hectárea de trigo, se delira. Es un delirio mercantil. Se estropea el medio ambiente y la salud de la gente. Con eso no puedo estar de acuerdo. Y como científico, me opongo a esa práctica. A un suelo hay que pedirle lo que es capaz de producir en función de su fertilidad natural. En Francia todo el mundo quiere sacar 100 quintales por hectárea. ¡Eso no tiene ni pies ni cabeza! ¡No se circula a 240 km/h con un seiscientos! Con los suelos pasa lo mismo. Lo primero que tenemos que hacer es ver cómo son nuestros suelos y trabajar en función de su potencial de partida.

Ahí es donde interviene usted. ¿Cómo evalúa la fertilidad de un suelo?

Claude Bourguignon: He desarrollado esta técnica a partir de una idea muy sencilla: el suelo es un sistema dinámico cuya profundidad es de unos 30 centímetros las más profundas, lo cual no es mucho. En ocasiones, analizamos suelos que salen directamente de la roca madre, que tocas al sondear el suelo. En cambio, otros suelos son tan profundos que no se puede llegar a la roca madre, como el de Roissy, donde se ha cubierto de hormigón y alquitrán 33 metros de profundidad de limos fértiles.

Bueno. Si usted está en Borgoña, en la Côte d'Or, y quiere conocer el estado de un suelo, llega hasta la roca madre. Tomo muestras del suelo a diferentes profundidades y en diversos puntos. Llego hasta la roca y tomo muestras de las distintas capas. Para mí, las diferentes capas del suelo son un poco como los estratos de una selva ecuatorial, con sus diversos pisos ecológicos y sus microbios variados. Se dan múltiples situaciones biológicas.

A continuación puedo estudiar la evolución de las arcillas, su calidad, su superficie interna desde la roca madre hasta la superficie. Las comparo con la parte trabajada por el agricultor. Comparo el trabajo realizado por la Naturaleza y el trabajo del ser humano. Comparo la calidad de las arcillas. Mediante análisis químicos, comparo parámetros clásicos (grado de acidez en pH, pHO, pHKCL). Comparo la capacidad de las cargas catiónicas. Estudio la actividad biológica de los suelos, y su evolución en la profundidad del suelo.

Al día de hoy conozco muchos suelos en todos los continentes del planeta. La conclusión general es la siguiente: los suelos con un buen equilibrio tienen una actividad biológica que disminuye con la profundidad hasta unos 30 centímetros, y luego se mantiene paralela a la roca madre. Existen 2 grandes grupos microbianos: en la superficie están los de la materia orgánica. Estamos en presencia de la atmósfera. Aquí se encuentran los grupos más activos, es donde se despliega el grueso de la energía viva. Después, la segunda capa, la de las profundidades, desemboca en un sustrato puramente mineral donde llegamos hasta los organismos devoradores de piedras, los quimiolitótrofos.

Con el conjunto de este enfoque físico, químico y biológico de lo que hace el agricultor, de lo que ha aportado al suelo, puedo determinar el dinamismo futuro del suelo. Por ejemplo, si veo buenas arcillas en el fondo pero sólo encuentro arcillas pobres en la superficie, eso significa que el suelo se está deteriorando. Los humus son de mala calidad. ¿La actividad biológica no es mayor en la superficie que en la parte mineral? Eso es que el suelo se está mineralizando hasta la superficie. Ese suelo está muerto.

Al hacer esas estadísticas y comparativas, observé algunos hechos importantes. Todo el mundo constata que está disminuyendo la materia orgánica en los suelos. Pero nadie se ha preocupado por la calidad de esa materia orgánica. He estudiado la capacidad de carga catiónica de las agriculturas convencionales. Es 2 o 3 veces mayor. Por desgracia, este aspecto cualitativo está poco estudiado, pues vivimos aún en una sociedad de lo cuantitativo que todavía se niega a comprender que los suelos están muriendo en Occidente. Cuando son ellos los que nos alimentan, no lo olvidemos. Así que si tenemos un suelo desequilibrado, y no será aportándole elementos NPK como recargaremos las cosas. La planta toma del suelo unos 28 elementos. No será aportándole 3 como restauraremos su salud. Entonces la planta enferma. El NPK hace engordar a la planta mediante los elementos de la turgescencia. De hecho, esa es la razón por la que se han elegido esos 3 elementos. Pero no son suficientes para la planta. La naturaleza es implacable. En cuanto una cosa sufre una carencia, los parásitos se abalanzan sobre ella para eliminarlo. No tiene que engendrar progenitura, tiene que desaparecer. Así que las hacen enfermar. ¿Y cómo responden los agricultores? Tratan. Y tal y como tratan, machacan la poca microflora y microfauna que quedan en el suelo. Con ello se agudiza la carencia de las plantas. El agricultor compra aún más pesticidas. Y claro, son las mismas empresas las que fabrican los abonos, los pesticidas, y después los fármacos. De modo que para la gente que se alimenta de esas plantas carenciadas, la cosa no va a acabar ahí ni muchísimo menos. Tanto más por cuanto los vendedores de abonos tienen márgenes cada vez más reducidos sobre los abonos, y donde de verdad tienen margen, con lo que realmente ganan dinero es con los pesticidas y los productos sanitarios: con esos es con los que ganan dinero. Así que no tienen ninguna gana de que se acabe ese maná. Reequilibrar nuestros suelos, reequilibrar nuestras plantas significaría asimismo recortar las cargas de seguridad social en las sociedades occidentales. ¡Cosa que nadie quiere presenciar! Porque está en juego toda la industria farmacéutica. Absurdo.

¿Cuál es la perspectiva si no se hace nada?

Claude Bourguignon: No hace falta ser profeta para adivinarlo. Todo lo que los ecologistas serios vienen anunciando desde hace 30 años se está cumpliendo hoy. En estos momentos nos estamos jugando el futuro de nuestra civilización. Estamos librando la batalla decisiva de Occidente. ¿Qué pasará si no hacemos nada? Occidente se derrumbará porque ya no hay críticas, no hay cuestionamientos. Moriremos como todas las civilizaciones, por la destrucción de los suelos. Como el imperio romano, el imperio maya...

Humus, es la palabra humanidad. Y nosotros mismos somos los artífices de nuestra propia desgracia. Lo peligroso es nuestra civilización, pues lleva su muerte en

ella. Se está autodestruyendo a la vez que proclama su victoria. La ciencia puede matarnos, porque la moral no está a su nivel. Tenemos una moral bíblica y una tecnología del Siglo XXI. ¡Los científicos se han convertido en los nuevos sacerdotes, cuando en el siglo XII eran monjes! Las personas de a pie no tienen acceso a la cultura científica, técnica e industrial, que así queda en manos de especialistas distanciados. Y eso da mucho miedo. ¡Mire al piloto de aviación que dirige su bomba por láser hacia sus objetivos! Libra una guerra limpia. ¡La prueba la tenemos en que sólo ve el resultado de su gesto en la pantalla de su televisor! La ciencia occidental moderna distancia radicalmente las cosas. Hace de todo.

¿Y por lo que se refiere a la alimentación en Occidente?

Claude Bourguignon: El distanciamiento está claro en el plano alimentario. La gente ya no quiere saber que se está comiendo la muerte de un animal. Por consiguiente, se le ofrece una especie de carne recordada, congelada, envasada en una bandeja de plástico. ¿Y el pescado? Ya viene empanado. Nos presentan los mataderos como si fueran higiénicos. En ellos, los animales ya no sufren... ya no hay el menor rastro de matanza. De modo que la persona puede comer carne como si fuera puré. No tiene la sensación de participar en un crimen. Hace falta mucha imaginación para relacionar una hamburguesa con la carne de un animal. De esa manera, el ser humano se libra totalmente de la sensación de culpa, a partir de lo cual puede aceptar que se críe a los animales tal como se hace hoy en día: en campos de concentración absolutamente monstruosos. Considero que todos los alumnos de bachillerato deberían ir por lo menos una vez a ver cómo se trata a los cerdos, los pollos, los terneros, etc. en la industria intensiva. Y luego tendrían que visitar un matadero. Es muy impresionante ver animales que llegan vivos y que, en menos de 15 metros, ya están totalmente desangrados. La velocidad de transformación del animal vivo. ¡Es extraordinariamente impactante!

Aunque no pretendo presentar el pasado como la edad de oro, diré sin embargo que se ha perdido la noción de fiesta. Antaño, la muerte de un animal era un acontecimiento infrecuente y festivo. El animal era un compañero y su muerte se vivía, aceptaba, trascendía, transformaba por un acto en el que intervenían la vida y la muerte. La fuente de lo sagrado. El animal era cómplice de la vida del ser humano, en un tiempo en que éste mantenía con la naturaleza una relación de amor respetuoso. Ahora la carne se ha convertido en un producto totalmente trivial, y para poder dar carne de forma trivial a todo el mundo, todos los días de la semana, se montan criaderos atroces. Cada día les inyectan fármacos a los animales. Si no inyectaran tranquilizantes a los cerdos, morirían de un ataque al corazón, etc. Lo que se llega a hacer en ganadería



industrial es como para vomitar. Pero se acepta con toda impunidad, es más, con la bendición de la ciencia, la higiene, la tecnología. Mire, yo pienso que una sociedad que trata a la vida de ese modo no se puede tratar bien a sí misma. Nuestra sociedad libra guerras limpias. Es como el agricultor que recorre sus tierras con su producto mortal a razón de 400 gramos por hectárea. Después tiene un campo aséptico. Ya no crece una sola amapola entre el trigo. Ni una mala hierba. Limpio. Racional. ¡Por fin algo limpio! La muerte tiene una gran belleza...

¿Y qué soluciones hay?

Claude Bourguignon: Como bien decía Kant, una cosa es moral cuando es generalizable al conjunto de la humanidad. Nuestra agricultura industrial no es generalizable. Si bastara el nitrógeno industrial para aportar a todas las tierras cultivadas la cantidad de nitrógeno que ingiere Francia, toda la flota mundial no bastaría para transportar esas cantidades de nitrógeno. Es imposible. No es generalizable. Así que hay que cambiar de agricultura. Porque las autoridades se guardan muy mucho de decir a los franceses que con nuestro sistema alimentario, en los países ricos hace falta una hectárea de tierra cultivada por persona para comer. Mientras que sólo quedan 2600 m² de tierras de labor por habitante. ¿Entonces? Significa que si nosotros consumimos una hectárea, es que hay seres humanos que no comen. Es una aritmética sencilla, pero cierta. Prosigamos. En este momento, en el planeta Tierra quedan 3 hectáreas por habitante, teniendo en cuenta todas las tierras, desde el desierto del Sahara hasta los polos. De esas 3 hectáreas hay que sacar con qué vestirse, construirse una casa, un coche, etc. Así que de esas tierras quedan 2600 m² cultivados para comer. En la actualidad, la erosión hace desaparecer cada año el equivalente a la superficie de Francia. Los rendimientos se estancan en Europa. Se habla de fatiga de los suelos. Antes no había problema, se añadían abonos solubles y se aumentaba la producción en 3 quintales por hectárea y año. Todo el mundo cantaba victoria. A principios de los años 80, el INRA ya anunciaba 150 quintales por hectárea. Hoy, eso se está cuestionando seriamente. Vemos cómo los agricultores acostumbrados a sus 100 quintales ahora sólo sacan 40 quintales. Por fatiga de los suelos... No obstante, si comparamos el contenido de elementos de los suelos mediante un análisis convencional, vemos que a menudo los suelos de agricultura biológica tienen menos elementos sólidos que los suelos cultivados de modo convencional, por lo tanto, según los criterios aplicados por la agricultura convencional, son menos fértiles. En cambio, considerados como medio, los suelos cultivados con agricultura convencional están desequilibrados. Dicho esto, en la agricultura biológica hay gente que trabaja muy mal. Algunos se han limitado a sustituir los abonos químicos por abonos orgánicos. Pero la agricultura no es eso. La agricultura viva es la que enriquece sus suelos. ¿Enriquecer? Res-

tituir. Para el agricultor, es el equivalente del mantenimiento del material productivo para un industrial: el suelo es lo que produce, de modo que hay que mantenerlo. La fertilización (o enriquecimiento pues) comprende 3 aspectos. Tradicionalmente, se fabricaba humus compostando. Para las arcillas, se abonaba con marga: se aportaban arcillas calizas y se mezclaban con un ligante, calcio la mayor parte de las veces. Se mezclaba todo ello con el compost y se esparcía sobre el suelo. De ese modo cada año se mantenía el material de producción. Y se mejoraba.

Segunda faceta del enriquecimiento: la fertilización de los microbios. Los microbios van a alimentar las plantas, de modo que hay que fertilizarlos. Se fertilizan los 2 grandes grupos: el grupo de la materia orgánica, y el de la química litótrofa. El grupo de la materia orgánica se divide en 3:

a) el grupo de la humidificación, que se fertiliza mediante el compost;

b) el grupo de la mineralización, que se fertiliza con abonos verdes;

c) el grupo de la rizoosfera (los microbios que viven junto a las raíces de las plantas y que las alimentan) se mantiene mediante la rotación de cultivos. Porque cada especie de plantas estimula cierta microflora. Por último, está el grupo de los quimiolitótrofos, es decir el de la roca madre. Se los alimenta mediante rocas trituradas. Si se trata de un terreno calizo, se tritura granito y se equilibra lo que la geología ha distribuido mal. Y queda el último aspecto: la fertilización de las plantas. Consiste en aportar lo que se ha exportado para no empobrecer el suelo en los elementos nutritivos de éstas. ¿Que sacas 50 kg de nitrógeno? Restituyes 50 kg de nitrógeno. Pero ahora, con la agricultura industrial, los 2 primeros aspectos han desaparecido. Se practica el monocultivo. Ya sólo se atiende la fertilización de las plantas. Y en cuanto se tiene un sistema no generalizable que se generaliza, es la muerte asegurada a muy corto plazo, para cualquier grupo humano. El análisis de los suelos no le da ni 30 años a esta civilización.

Cuando ves África, ¡es para volverse loco! ¡Países como Etiopía y Sudán han talado el 95% de su superficie forestal desde 1960! ¡Liquidados en 30 años! Y ahora hay una marea humana de muertos de hambre. La inmigración descontrolada será el gran problema de Occidente. No se podrá hacer frente a ella, sobre todo si sólo se recurre al miedo, el rechazo y la fuerza. ¡Miren India, es una pesadilla! Y nos hicieron creer que la técnica resolvería el problema. Sólo que el problema no es técnico. El problema es mucho más sutil. Porque la Tierra es muy sutil. No es sencillo alimentar a los hombres.

Se creyó que vendiendo abonos químicos a los hindúes e introduciendo variedades de alto rendimiento

se solucionaría el problema. Desde los años 70, en India se han erosionado millones de hectáreas con las técnicas de la llamada Revolución Verde. Los resultados de esa Revolución Verde, que le valió un premio Nobel a su promotor, Norbert Borlaug, aparecen hoy con toda claridad: millones de vidas exterminadas por esa Revolución Verde. Todos los países del norte de África eran más o menos autosuficientes hasta 1945. Hoy, importan el 85% de su alimentación. Y eso que se entretienen en criar alfalfa en el desierto bajo plástico negro. ¡Pues muy bien! En Arabia Saudí se cultiva trigo en el desierto, y sale 45 veces más caro que el precio mundial. Un poco como Maria Antonieta, que sacaba a las ovejas de paseo. Inepto. Indigno del hombre y de la mujer. Lo único que puede salvar a la humanidad de las grandes catástrofes es la agricultura biológica y biodinámica. El Amor. Un nuevo Arte de la Ciencia. El Sentido Común.

¿Qué soluciones adaptadas preconiza usted?

Claude Bourguignon: hay que:

- Volver a plantar setos con un mallado de 20 hectáreas.
- Reforestar las zonas sensibles.
- Gestionar la materia orgánica de las ciudades, aparte de la basura industrial, para poder volver a aumentar la tasa de materia orgánica de los suelos.

¿Y la agricultura biodinámica?

Claude Bourguignon: Creo que a estas alturas, para el Tercer Mundo la única solución es la agricultura biodinámica. La agricultura biodinámica no cuesta nada. Se hace a base de preparados manuales solamente. Se puede enriquecer con los conocimientos locales. Es de una sencillez extraordinaria. Además, la agricultura biodinámica encaja perfectamente con la mentalidad de los países del Tercer Mundo, que no tienen dificultad en trabajar con nociones de fuerzas cósmicas.

Mi punto de vista científico sobre la agricultura biodinámica es que, evidentemente, es algo especial.

Los preparados biodinámicos hacen pensar más en libros de magia medievales con recetas de brujería que en ciencia propiamente dicha. Y sin embargo, he estudiado algunos preparados y algunas de ellas me han dejado boquiabierto. En especial el preparado de las boñigas de cuernos.

Cuando la miras al microscopio, ¡resulta alucinante la cantidad de vida microbiana que puede alimentar la boñiga de cuernos! Normalmente, en la boñiga de vaca no hay gran cosa. Pero Steiner nos hace enterrar un cuerno de becerra por San Miguel, y desenterrarla por San Juan. Dirías que es brujería medieval. O conocimientos arcaicos, de las antiguas ciencias de la naturaleza. Pero luego lo alucinante es el resultado.

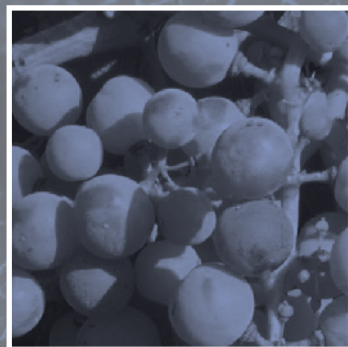
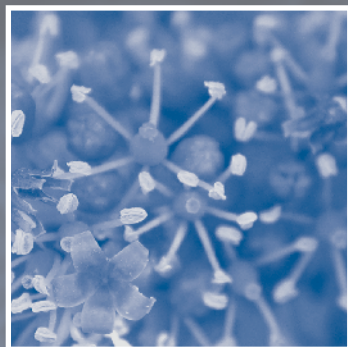
¿Qué es lo que pasa? No tengo ni idea. No sé qué tipo de energía se moviliza con la biodinámica, pero como científico me guardo muy mucho de tomármela a guasa. Sólo digo que no tengo explicación. Mis aparatos de medición no ven nada, no tienen acceso a la frecuencia de las energías activadas por la biodinámica. Lo único que veo, es que sus suelos son más activos. Por ejemplo, los composts evolucionan 3 semanas antes cuando se tratan con los preparados biodinámicos de Rudolf Steiner. Y efectivamente, hay preparados que tienen actividades biológicas sobresalientes. Eso es lo único que puedo decir. Pero no puedo medir las actividades de la biodinámica. Si dirigiera un Instituto, haría experimentos para ver qué hay detrás de eso. Con una visión científica. Eso es lo que se pretende con la creación de varias cátedras de biodinámica en diversas universidades americanas, y también alemanas. La visión de la agricultura biológica desemboca en el nacimiento de verdaderas universidades ecológicas rurales y urbanas.

La gran fractura de toda nuestra historia cultural que esconde este fenómeno es la relación con la Tierra, con la Mujer. La Tierra necesita respeto. La Tierra echa en falta brazos que la cultiven con el cuidado que requiere, pero por desgracia los hombres ya no quieren trabajarla, porque ser agricultor se ha vuelto degradante. La destrucción de los suelos agrícolas es el problema más importante que afrontará la humanidad durante el siglo que viene. Hay que detener la erosión de los suelos cultivados. Y es urgente, porque está en juego la vida de los suelos.



I.4. Respuestas de la viña al *terroir*

Elementos para determinar un método de estudio



29	I.4.1. Introducción
29	I.4.2. Las definiciones del termino <i>terroir</i>
29	I.4.3. La asociacion suelo - clima- planta
30	I.4.4. La aproximacion "planta completa - baya"
30	I.4.5. Los elementos del método
33	I.4.6. Objetivos y perspectivas
33	I.4.7. Agradecimientos



A. DELOIRE

A. CARBONNEAU

Agro - Montpellier
Francia

M. FERRER

Facultad de Agronomía
Montevideo - Uruguay

Artículo cedido por www.infowine.com



El concepto de *terroir* vitícola se caracteriza por la asociación “clima – suelo – planta”, al cual se suman las ciencias enológicas y el Hombre, indispensables para elaborar un vino de calidad. La comprensión de cuáles son los factores que intervienen en la calidad de la cosecha implica el conocimiento de las relaciones “planta completa – bayas”. Para ello se proponen elementos metodológicos fácilmente utilizables en campo y en el laboratorio que permitan el estudio de estas relaciones, integradas con relación a los vinos.

El conocimiento del comportamiento hídrico de la viña y la evolución bioquímica de la baya durante su crecimiento, a partir del estado herbáceo, son aspectos importantes para la comprensión del rol del *terroir* vitícola en la calidad de la vendimia y la tipicidad de los vinos.

I.4.1. Introducción

Los *terroir* vitícolas son objeto, desde hace muchos años, de numerosas investigaciones (cf. Coloquio Internacional sobre *Terroirs* Vitícolas, Angers - Francia 1996). Si bien estos estudios son relativamente recientes, el concepto de *terroir* podía igualmente ser descrito, ya que encierra nociones muy ricas, ligadas a la calidad y a la tipicidad de ciertos productos agrícolas, como los vinos y los quesos entre otros. Para asegurar que el concepto de *terroir* se basa sobre realidades que no sean discutibles, debe ser considerado bajo el ángulo de las investigaciones técnico - científicas, más allá de mensajes positivos que pueden vincular al consumidor con un producto.

I.4.2. Las definiciones del termino *terroir*

Las diferentes definiciones del término *terroir* son muy bien descriptas por Vaudour (2001). El término *terroir* proviene del latín popular *terratorium*, deformación de *territorium*. Es útil recordar los siguientes términos directamente ligados a la filial vitivinícola (Morlat, 1989; Laville 1993; Carbonneau, 2001):

UTB: Unidad de Terroir de Base = “mesoclima x suelo/ sub suelo “sobre una serie de años a la escala de parcela o de un grupo de parcelas.

UTV: Unidad de Terroir Vitícola = UTB x variedad x tecnología viña - vino.

El viticultor actúa sobre los componentes intrínsecos de la UTB como el microclima radiativo, térmico o hídrico de la vegetación y de los racimos, influyendo así sobre la calidad de la materia prima, y en asociación con el enólogo, sobre la tipicidad del vino.

La herencia histórica y la dimensión socio - cultural del *terroir* son determinantes y refuerzan su carácter único (Dion, 1977; Lachiver, 1988; Garrier, 1998; Carbonneau, 2001)

I.4.3. La asociacion suelo - clima- planta

Los objetivos de estudio tienen diversos enfoques, que se centran generalmente sobre el suelo, el clima y el seguimiento analítico y sensorial de los vinos, con una relación entre la planta y el vino a través del seguimiento de la maduración de las uvas (Morlat, 1978; Noble, 1979; Seguin, 1983; Jacquinet 1989; Lebon 1993 ; Dodelec, 1995; Martín, 1995; Bremond, 1996; Carbonneau, 1996; Morlat, 1996; Sôtes, 1996; Salette, 1997; Fanet, 2001 ; Vaudour, 2001 a y b; Martín, 2002). Estos autores han realizado estudios importantes y necesarios. Sin embargo, para comprender un cierto número de situaciones vitícolas, es indispensable ir más lejos en el conocimiento de la relación “planta completa - baya”. Es en este sentido que se propone, en el marco de estudio de *terroir* vitícola, profundizar en el conocimiento de esta relación. El concepto de *terroir* se apoya en los siguientes componentes: clima, suelo, variedad y el Hombre, actor mayor de los *terroir*. Se verá de manera muy resumida los diferentes componentes, insistiendo sobre la planta, objeto de esta presentación. No se abordará el factor humano, el que es omnipresente en el concepto de *terroir* y que es

abordado por varios equipos de trabajo (INAO, 1984; Dupuy, 1989; Letablier y Nicola 1994).

El clima: Las 3 escalas climáticas (macroclima para la región, mesoclima para la parcela y microclima para la planta) fueron validadas por Carbonneau (2001). Los índices climáticos puestos a punto para comprender la respuesta del cultivo de la vid a diferentes parámetros climáticos, son actualmente conocidos y operacionales. Se pueden citar: Índice de Huglin; Índice de Fresco de las noches (IF) y el Balance Hídrico del Suelo (Riou, 1994; Riou, 1997; Tonietto, 1999). En el marco de los estudio climáticos, es necesario identificar cuál es el factor limitante. Normalmente, ocurre que existe un número reducido de estaciones meteorológicas en la zona, lo que limita los estudios a escala parcelaria o de un grupo de parcelas.

El suelo: Para comprender las relaciones suelo - viña son indispensables estudios geo - pedológicos que permitan la elaboración de cartas pedológicas, perfiles hídrico del suelo y del crecimiento radicular de la planta (Trambouze y Voltz, 1996; Hunter, 1998). Sin embargo, estos estudios en el área de la ciencias del suelo por si solos, no permiten describir y comprender el funcionamiento de la planta y la evolución bioquímica de la baya de la cual depende la calidad de la vendimia. Se han desarrollado nuevos sistemas de estudio que tienen en cuenta tratamientos de imágenes satelitales y utilizan Sistemas de Información Geográfica (SIG). Estos sistemas están desarrollados y adaptados a la modelización espacial o a la zonación de los *terroir* vitícolas, por intermedio de la caracterización de los suelos vitícolas al seno de unidades pedopaisajes. Estos métodos son susceptibles de integrar múltiples informaciones, relacionando la cubierta pedológica al clima o a la planta. La adquisición y el tratamiento de estas informaciones se muestran indispensables para comprender el funcionamiento de la planta, pero dependen de la disponibilidad de información según 3 tipos de situación:

- a. las informaciones sobre el suelo y el clima son tomadas a nivel de la parcela y/o de un grupo de parcelas
- b. las informaciones son de difícil obtención ya que los medios son limitantes, en particular por la ausencia de estaciones meteorológicas para la obtención de información climática
- c. la información que se dispone sobre suelo y clima es parcial, y en paralelo a los estudios sobre la planta.

La planta: Desde hace varias años se llevan adelante numerosos estudios sobre la vid y su funcionamiento, muchos de los cuales aun se continúan a nivel de la fisiología molecular (Roubelakis- Angelakis, 2001). A título de ejemplo se pueden citar algunos traba-

jos (May *et al.*, 1976; Carbonneau *et al.*, 1978; Schultz, 1993; Katerji *et al.*, 1994; Smart, 1995; Carbonneau, 1996b; Naor *et al.*, 1997; During, 1998; Hunter, 1998; Zufferey *et al.*, 2000). El interés de estudios a escala de planta entera y la pertinencia de aproximaciones multidisciplinarias queda de manifiesto en varias de estas investigaciones.

1.4.4. La aproximación "planta completa - baya"

Apoyándonos en estos antecedentes técnicos - científicos se propone elaborar, en el contexto del conocimiento de los *terroirs* vitícolas, una aproximación del conocimiento de la planta completa - baya que sea fácilmente puesta en práctica (en el terreno o laboratorio) y que aporte información confiable sobre el comportamiento de la vid y la bioquímica de la baya. Esta metodología, es ciertamente ajustable en la medida que se registren progresos en la investigación. Sin embargo, la misma puede ser muy útil para establecer una primera aproximación al comportamiento de la planta en relación con su ambiente. Esta metodología se justifica también para las situaciones donde la información suelo y/o clima son difícilmente accesibles a la escala de parcela o grupo de parcelas. Las informaciones así obtenidas sobre la planta entera y la baya, integradas al contexto del medio, están en relación estrecha con la calidad de la vendimia y la calidad de los vinos. La información relevada se refiere, fundamentalmente, a la evolución del estado hídrico de la planta y al microclima de los racimos, en relación con la bioquímica de la baya a partir del estado herbáceo de su crecimiento. La dificultad residirá en establecer las correlaciones pertinentes.

1.4.5. Los elementos del método

Los estudios a ser efectuados sobre la planta deben tener en cuenta los siguientes puntos en relación a sus estados fenológicos:

a) La planta

- a. el estado hídrico.
- b. el crecimiento de los sarmiento y de las feminelas.
- c. la superficie foliar total (SFt) o la superficie foliar expuesta potencial (SFEp) por m² o por hectárea (Carbonneau, 1995; Murisier, 1996).
- d. la relación SFE/P (superficie foliar expuesta / peso de cosecha, por m². Esta relación depende del vigor de la planta (Carbonneau, 1999).
- e. el vigor (peso de un sarmiento).
- f. la expresión vegetativa (peso del conjunto de los sarmientos de una planta o por m²).

- g. la capacidad de una planta (0,5 x peso de poda + 0,2 x peso de cosecha).

b) Las bayas

- a. el crecimiento de las bayas.
- b. las características mecánicas de las bayas (firmeza) (Abbal y Planton, 1991).
- c. el peso de 200 bayas y el peso de 1 baya.
- d. el peso de cosecha /planta o m².
- e. la evolución de los metabolitos primarios (azúcares, ácidos) y secundarios (fenoles, más fácilmente analizables en la rutina que los aromas).

Estos elementos constituyen una serie de medidas de campo y laboratorio accesibles o de un nivel de accesibilidad razonable. En función de las preguntas realizadas y de los medios disponibles, es posible el abordaje a diferentes niveles.

Para algunas de estas medidas es interesante realizar algunas aclaraciones:

Precisión sobre ciertos elementos del método

El estado hídrico de la planta: la información está dada por la medida del potencial hídrico foliar gracias a la técnica de la cámara de presión (Scholander, 1965; Ojeda *et al.*, 2001). El método de referencia que se utiliza actualmente es la medida del potencial hídrico foliar de base (PHFb) que se mide antes del amanecer, cuando los estomas de las hojas están cerrados y se ha restablecido el equilibrio hídrico en relación al agua del suelo. Hay una buena relación entre el estado hídrico de la planta medido por el PHFb y la reserva útil de agua del suelo. En este sentido los valores umbrales del PHFb han sido propuestos por Carbonneau (1998) y permiten apreciar el grado de estrés hídrico sufrido por la planta. Los umbrales aproximativos surgen de una veintena de años de observaciones en muchos viñedos y sobre varias variedades:

- 0 Mpa > - P > -0.2 Mpa ausencia de estrés hídrico
- 0,2Mpa > - P > -0,4Mpa estrés hídrico ligero a medio
- 0,4Mpa > - P > 0.6 Mpa estrés hídrico medio a fuerte
- 0,6Mpa > -P estrés hídrico fuerte

Se pueden realizar algunas precisiones:

- a. Todas las técnicas de evaluación del estado hídrico de la viña, diferentes al PHFb, deben ser referidas a este. Es el caso del potencial hídrico del pámpano (Choné, 2001) y de la medida del potencial hídrico

foliar del zenit. Estos 2 últimos métodos miden de manera indirecta la transpiración global del follaje y son dependientes de las condiciones meteorológicas (cielo nublado, humedad del aire, etc.).

- b. El PHFb es dependiente de la lluvia y es necesario tener en cuenta este aspecto en el seguimiento de la cinética hídrica. El método permite registrar las respuestas de la planta en corto plazo (algunas horas), en relación a una modificación del estatus hídrico del suelo.

- c. En las situaciones donde la estimación de la reserva útil del suelo, en relación con su profundidad, son difícilmente medibles, el PHFb es el método recomendado para apreciar el estado de la reserva hídrica de un suelo y su evolución, vía la planta. Las raíces llegan donde generalmente las sondas de neutrones no pueden hacerlo .

- d. Las medidas de PHFb se realizan preferentemente en cinética de floración a maduración, o sea de envero a maduración. La evolución del estado hídrico de la planta, en el curso del ciclo vegetativo, es lo que mejor reseña el impacto del agua sobre el crecimiento de la planta y sobre la bioquímica de la baya. Se sugiere realizar las medidas en los siguientes períodos: floración (100% de flores abiertas), cerrado del racimo, envero (50% de bayas enveradas), mitad de maduración y de maduración a la cosecha.

- e. Estas medidas realizadas a escala de la planta completa permiten caracterizar la homogeneidad o heterogeneidad de una parcela o grupo de parcelas, en término de su comportamiento hídrico, y permiten la aplicación de un tratamiento estadístico de los datos.

- f. El balance PHFb de una parcela puede permitir evaluar el interés de realizar fosas pedológicas (calicatas) para comprender la eventual heterogeneidad del comportamiento observado, que estaría ligado, fundamentalmente, a la capacidad de enraizamiento de la planta en relación con la profundidad del suelo o a su naturaleza.

- g. El rol central del agua en la viña concierne tanto al suelo (oferta) como a la absorción de la radiación en relación con la arquitectura de la planta (demanda) (Carbonneau, 2000).

El crecimiento vegetativo: el seguimiento de la cinética del alargamiento de los sarmientos principales puede reseñar la dinámica del crecimiento de la planta (Bessis y Ecevit, 1974; Fournioux, 2001). El crecimiento de los sarmientos y de las feminelas están en relación estrecha con el estado hídrico de la planta (Hardie y Martín, 2000; Lebom, 2001), y con la fertilización nitrogenada (Conradie, 1980). Las medidas de



vigor y de expresión vegetativa resultan interesantes para comparar situaciones diferentes. Se puede tratar de parcelas con comportamiento hídrico y/o nitrógeno diferente o simplemente para comparar una misma situación de vigor, los sistemas de conducción entre sí (Katerji *et al.*, 1994; Carbonneau *et al.*, 2001; Mauro *et al.*, 2001). Las medidas de crecimiento deben referirse a los estados fenológicos y en este sentido es aconsejable la utilización de la escala de Eichorn y Lorenz (1995). El balance del carbono aporta información sobre su reparto entre los diferentes órganos (Conradie, 1980). Es necesario insistir sobre el hecho que el estado hídrico de la planta se explica en función del aporte de agua (suelo) pero también en función de la demanda (arquitectura de la vegetación). Es así que el concepto de superficie foliar total y superficie foliar expuesta toma gran significación. (Carbonneau, 1976; Carbonneau, 1995; Mabroux y Carbonneau, 1996; Murisier, 1996). En este sentido es necesario recordar que la relación SFE/P se explica en función del vigor de la planta (Carbonneau, 1999). La relación SFE/P es más alta en la medida que las flosas en competencia con los racimos son más numerosas, (la importancia de las "flosas" de los sarmientos primarios y secundarios, se evalúa por la medición del vigor y de la expresión vegetativa). Los trabajos de investigación muestran que el sistema de conducción en la viña, es un elemento importante que determina la calidad de la cosecha y la tipicidad de los vinos (cf. Diferentes actas de los Coloquios del GESCO).

El crecimiento de la baya: los métodos de selección de bayas en función del diámetro o de su contenido en azúcares, desarrollados por el Dr. Romieu (INRA - Montpellier, UMR "Sciences pour l'Oenologie", com. pers.), permiten visualizar las etapas del crecimiento de la baya. A través de estos métodos, se ha podido confirmar la ausencia de relación sistemática entre el tamaño de la baya y su contenido en azúcares. La apreciación visual del crecimiento de las bayas es aleatoria, y el método de selección ha mostrado que para numerosas variedades y en muchas situaciones, hay una heterogeneidad considerable del tamaño y del peso entre las bayas de un mismo racimo, entre racimos de una misma planta y entre racimos de diferentes plantas. Se ha registrado igualmente una evolución diaria del diámetro de la baya en relación con el estado hídrico de la viña (Greenspan *et al.*, 1994). El número de clases de bayas y su frecuencia depende, entre otros factores, del estado hídrico de la planta. Es interesante, para ciertos estudios (dosificación de azúcares, de ácidos, de metabolitos secundarios, estudios de crecimiento, etc), trabajar por clase de bayas (Ojeda, 1999; Ojeda *et al.*, 2001). Según la pregunta formulada puede ser necesario estudiar las características mecánicas de la baya, que reflejen su turgencia en relación con la variedad y el *terroir* (Robin *et al.*, 1997).

Trabajos recientes han aportado resultados originales indicando que un estrés hídrico aplicado a la viña de

floración a envero, no modifica la multiplicación celular sino el agrandamiento de las células, y según sea la intensidad del estrés el efecto puede ser irreversible (Ojeda *et al.*, 1998, 1999, 2001). Cuando la situación de estrés se produce del envero a maduración puede tener un carácter reversible, debido a la plasticidad celular (el ablandamiento de la baya que caracteriza el comienzo del envero). El fenómeno de concentración - dilución es directamente dependiente del estado hídrico de la planta, el que a su vez está en relación con la reserva fácilmente utilizable del suelo y el aporte de agua bajo forma de riego o lluvia. Para la baya el número y tamaño de las células son elementos importantes que participan en la calidad de la vendimia, de igual manera que la relación superficie pelicular / pulpa (Carbonneau *et al.*, 1998). Es por esta razón que en los resultados de los análisis bioquímicos de los metabolitos primarios y secundarios es necesario distinguir los que surgen de la concentración, generalmente expresados en mg/g, de aquellos que surgen de la biosíntesis, expresados en mg/baya.

La evolución de los fenoles: Los estudios emprendidos sobre la evolución de los fenoles de la baya como marcadores de respuesta de la viña han permitido realizar varias observaciones (Deloire *et al.*, 2001; Ojeda *et al.*, 2002):

- a. Destacar la importancia de considerar la evolución de ciertos metabolitos desde la fase herbácea del crecimiento de la baya (cuajado - envero). En este sentido es interesante tener en cuenta la influencia de los itinerarios culturales realizados sobre el viñedo desde este periodo, para comprender e interpretar el crecimiento y la bioquímica de la baya en relación con la calidad de la vendimia
- b. Disociar, para interpretar situaciones diferentes, los resultados que expresan la concentración, de aquellos que expresan los eventos de biosíntesis
- c. Relacionar las relaciones "estado hídrico de la planta - bioquímica de la baya" considerando, para un estrés hídrico dado, el periodo en que sobreviene, su duración y su intensidad. Es así que las variedades syrah y garnacha, a partir de un cierto nivel de estrés hídrico, no reaccionan de la misma manera, en términos de biosíntesis de antocianos o de flavonas (Deloire *et al.*, 2001).

Algunos de los compuestos fenólicos estudiados, tienen un rol en la biodefensa de las bayas. Las relaciones entre el estado hídrico de la planta y su capacidad de defenderse contra bio - agresores es por lo tanto un componente del *terroir*; en relación con el microclima de los racimos y la arquitectura de la vegetación. (Deloire *et al.*, 1998; Deloire *et al.*, 2000; Deloire *et al.*, 2001).

Las relaciones bayas - vino: Este tema es sumamente complejo y es estudiado por varios equipos: (Flanzy, 1998; Brossaud *et al.*, 1999; cf. Actas Coloquios GESCO). Se ha demostrado que el estrés hídrico modifica el grado de polimerización de los taninos (Deloire *et al.*, 2001; Ojeda *et al.*, 2001), información que los seguimientos de maduración clásicos no permitían detectar. La cuestión es determinar el impacto que este tipo de observaciones tiene sobre la calidad de los vinos en relación directa con el proceso de vinificación. En este sentido el análisis sensorial de los granos (Rousseau et Delteil, 2000) se visualiza como una técnica interesante desde varios puntos de vista para determinar la madurez de la baya, pero ella debe ser completada en función del nivel de la comprensión y el funcionamiento del sistema "terroir - viña - baya" por medio de análisis más precisos.

Es necesario establecer después, las relaciones potenciales entre las respuestas bioquímicas de la baya y la calidad y la tipicidad de los vinos correspondientes. En este sentido un apoyo de minivinificaciones (0,5 a 1 HL) y de análisis sensorial pueden ser útiles para comparar, entre sí, ciertas situaciones. El desarrollo de técnicas de análisis performantes (técnicas utilizando las dosificaciones por infrarrojo, por ejemplo) permiten ya, para ciertos metabolitos primarios y lo deberían hacer en el futuro para los metabolitos secundarios, la realización de análisis rápidos, fiables y de una capacidad de resolución, a nivel de los vinos y de las bayas. Las correlaciones entre la bioquímica de la baya, el *terroir* y la tipicidad de los vinos serán más fáciles de establecer.

I.4.6. Objetivos y perspectivas

Los estudios referentes a las respuestas de la viña - *terroir* utilizan las metodologías planteadas en este artículo. Si bien esta propuesta no es exhaustiva, permite responder a un número de preguntas realizadas por la profesión. Es posible diferenciar varios niveles de estudio para analizar el comportamiento de la viña en un *terroir*:

- los estudios puntuales (de un ciclo) que permitirán una primera zonación de la viña sobre una parcela o un grupo de parcelas (ej. la zonación hídrica por PHFb, con seguimiento de la maduración)
- los estudios de mediana duración (mínimo 3 años) que permiten integrar el efecto año

- los estudios de larga duración que tienen por objetivo caracterizar una zona vitícola en su conjunto.

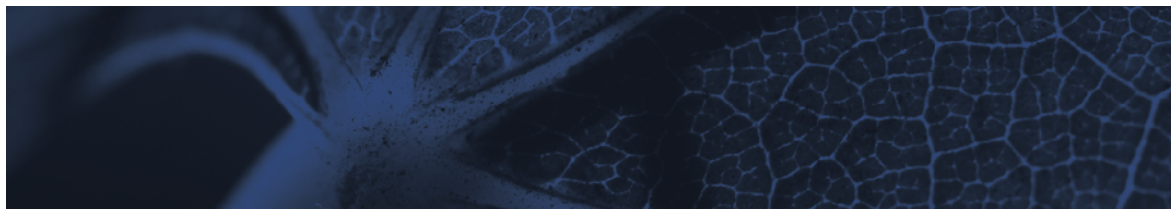
En función de la pregunta planteada y de los medios disponibles, es necesario establecer un compromiso entre la duración del estudio y de las metodologías a utilizar. Por ejemplo, la simple medida del PHFb permite en un ciclo de desarrollo de la viña obtener una primera zonificación del comportamiento hídrico de la planta sobre las parcelas estudiadas. Para responder a la pregunta de la estabilidad del *terroir*, es necesario comprender el interés de repetir estas medidas varios años (al menos 3). Un análisis frecuencial efectuado varios años sobre información relativa a las bayas de garnacha en Côte du Rhône meridional (metabolitos primarios y peso de 200 granos) ha mostrado que la serie de 7 años (1992 -1998) se acerca a la serie de 17 años (1982-1998), pero que una serie de 3 años mal elegida (1995 -1997) fue poco representativa del periodo máximo considerado (Vaudour, 2001a). En este sentido, los estudios que se proponen de cinética de la evolución bioquímica de las bayas en relación con el seguimiento hídrico de la viña, deberían permitir conocer más rápidamente el efecto año para una variedad en un *terroir*. Es así que una serie de 3 a 5 años de estudios de las relaciones *viña - baya -vino* podrían permitir interpretar rápidamente el efecto *terroir*.

Los objetivos posibles de estos estudios son principalmente:

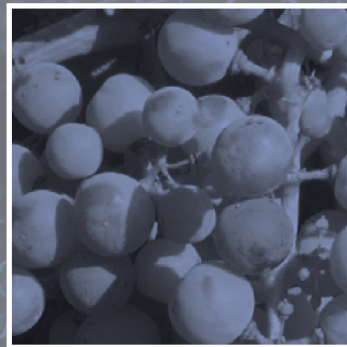
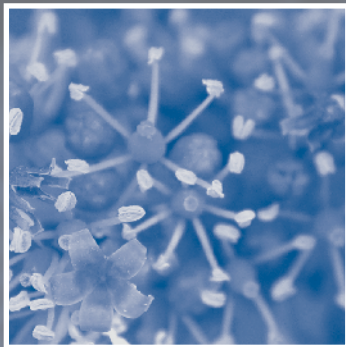
- Por un lado aportar informaciones sobre las relaciones *viña - terroir - vino*, con fines de conocer y de comunicación interna (entre socios de una cooperativa por ejemplo, para justificar el interés de la selección parcelaria y/o la elección de las fechas de vendimia) o externa para poder defender el concepto de *terroir* a la luz de argumentos confiables.
- Por otra parte, para las recomendaciones de los itinerarios culturales y sobre la vinificación, en relación al tipo de producto deseado.

I.4.7. Agradecimientos

Agradecemos calurosamente a la Dra. Emmanuelle Vaudour (INA París - Grignon) por los comentarios pertinentes que ha aportado a este artículo. Agradecemos igualmente al Sr. Michel Gueber (Director del Servicio viticultura Cámara de Agricultura del Gard) y al Profesor J .C. Fournioux (Universidad de Borgoña, Laboratorio de Ciencias de la Viña) por sus valiosas puntualizaciones.



I.5. Actividad biológica de los suelos: intereses y métodos de evaluación



35	I.5.1. Papel de la actividad biológica
35	I.5.2. Los métodos de evaluación
36	I.5.3. Variabilidad de la biomasa microbiana en función del suelo
36	I.5.4. Variabilidad en función del clima
37	I.5.5. Utilización de los indicadores microbiológicos
38	I.5.6. Utilización del recuento de población: los microartrópodos.

1.5.1. Papel de la actividad biológica

La formación de los suelos (pedogénesis) y la nutrición de las plantas están condicionadas por reacciones de origen bioquímico. Su desarrollo se efectúa en presencia de seres vivos. El conocimiento de la actividad biológica de un suelo permite, por lo tanto, acercarse a la dinámica de evolución del suelo y a las capacidades de intercambio entre el suelo y la planta.

Los suelos albergan numerosos seres vivos (microflora, micro y mesofauna), cuya actividad es un vínculo más o menos directo con su "funcionamiento". ¿Cuáles son las medidas biológicas y bioquímicas «operacionales», es decir verdaderamente utilizables, para juzgar los efectos de las prácticas agrícolas sobre la calidad de los suelos y del ambiente?. Aquí presentamos los principales métodos analíticos capaces de aportar información sobre la actividad biológica del suelo. Es necesario especificar que estos métodos no se sustituyen por la observación de campo (fosa pedológica ó calicata). Son un complemento.

Por el momento, no existe un referente fiable de los indicadores de actividad biológica del suelo. Estas herramientas no permiten diagnosticar la «calidad» del suelo en el momento de la medición. Su utilización no puede ser considerada únicamente en el marco de un seguimiento temporal de una parcela. Estas herramientas informan, entonces, acerca de la evolución del estado biológico del suelo.

1.5.2. Los métodos de evaluación

• Biomasa microbiana

La noción de biomasa microbiana abarca el conjunto de los microorganismos del suelo (bacterias, hongos, etc.). Corresponde a la medición del carbono contenido en los seres vivos del suelo. En consecuencia, la biomasa microbiana es una medición global que representa una cantidad de carbono "vivo" en el suelo. Este método presenta la ventaja de ser aplicable a todos los tipos de suelos, de estar prácticamente "normalizado" y relativamente de fácil realización.

• Pool de materias orgánicas del suelo

Existen 2 formas identificadas de materias orgánicas: la

materia orgánica muy estable - «el humus» - y la fracción viva - la biomasa microbiana.

Entre estas 2 formas, existe una fracción orgánica intermedia. Esta fracción puede dosificarse por diferentes métodos: la extracción con agua caliente, el fraccionamiento granulométrico, la medición de la fracción no húmeda de la materia orgánica (método Hérody). El conocimiento de esta materia orgánica «lábil» informa sobre la estructura de la materia orgánica del suelo. Es un indicador de evolución rápida (del orden de 3 a 5 años).

• Mineralización del carbono y del nitrógeno

Se trata de medir un potencial de mineralización. El método consiste en medir la mineralización del carbono y del nitrógeno, en condiciones controladas, cercanas al óptimo biológico (28 días a 28°C).

Esta cantidad de carbono relacionada con el tamaño de la biomasa microbiana, permite acceder a la tasa de renovación del carbono «vivo».

• Actividades enzimáticas del suelo

La degradación de la materia orgánica por los seres vivos es efectuada, principalmente, por enzimas. Por lo tanto, es posible acercarse a la noción de actividad biológica midiendo algunas funciones enzimáticas del suelo.

Estos métodos son poco prácticos ya que la medición es muy específica y, por lo tanto, difícil de aproximarse a una noción de funcionamiento del suelo.

• Mediciones microbiológicas

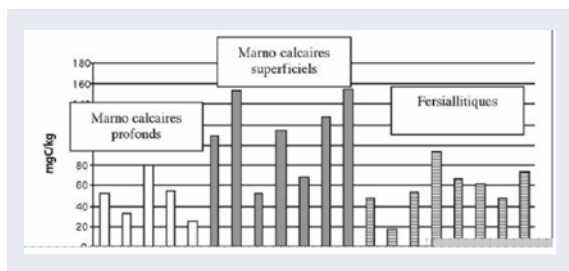
La evaluación de las poblaciones de lombrices, consiste en determinar el número, la masa y la diversidad de los gusanos de tierra, presentes en el suelo. Los métodos de muestreo no son precisos ni permiten un uso rutinario. Sin embargo, se pueden considerar aproximaciones simplificando los métodos.

Las lombrices son organismos vivos que estructuran el suelo (túnel galería, mezcla de la materia orgánica...). Su evaluación brinda información acerca de la estruc-



Figura 1

Nivel de biomasa microbiana en los diferentes tipos de suelos



tura del suelo y su potencial de evolución. Se puede realizar también, el recuento de otros organismos del suelo. Así, se recuentan artrópodos o microartrópodos. Estos recuentos permiten evaluar el efecto de una práctica (en comparación con un testigo) sobre la población biológica. Estos métodos son fiables, si se realiza un reconocimiento preciso de cada especie. Son los indicadores utilizables en el marco de la investigación.

¿Cómo interpretar los resultados del análisis biológico?

El nivel de biomasa microbiana depende de numerosos factores. A fin de realizar una mejor interpretación de los análisis futuros, hemos buscado apreciar esta variabilidad en función del suelo y del clima.

1.5.3. Variabilidad de la biomasa microbiana en función del suelo

Para abordar la variabilidad vinculada al suelo, hemos realizado un estudio en 3 diferentes tipos de suelo. Los suelos marno-calcáreos (profundo o superficial) se caracterizan por un pH básico (> 8,5), un contenido de arcilla de 30 % y un contenido calcáreo total elevado, superior a 40 %. En cuanto a los suelos fersiallíticos, se caracterizan por pH menos básicos (6,5 a 7), un contenido de arcilla del orden del 15 % y ausencia calcárea. La primera constatación revela, en todos los suelos, un bajo nivel de biomasa microbiana (del orden de 80 mg c/kg) (figura 1) y una gran variabilidad en función de los muestreos.

En segundo lugar, no es posible definir un nivel de referencia por tipo de suelo. En efecto, la diferencia entre los suelos marno-calcáreos superficiales y marno-

Figura 2

Evolución del nivel de biomasa microbiana

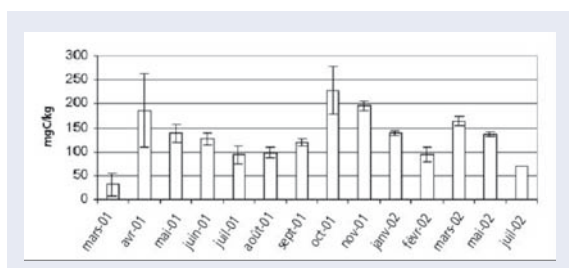
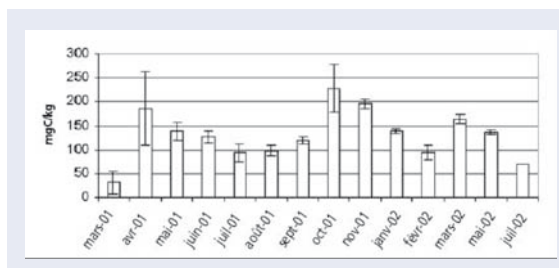


Figura 3

Evolución de la biomasa microbiana sobre los 2 diferentes tipos de suelo



calcáreos profundos es tan importante como entre los suelos fersiallíticos y los suelos marno-calcáreos superficiales.

1.5.4. Variabilidad en función del clima

La vida de los microorganismos del suelo depende del agua y de la temperatura del suelo. Hemos intentado, por lo tanto, especificar la variabilidad de la biomasa microbiana, a lo largo del año, en clima mediterráneo (figuras 2 y 3).

Constatamos que el nivel de biomasa microbiana puede variar de simple al doble, en función de la fecha de toma de muestra.

2 períodos aparecen como los más favorables para la vida de los microorganismos: el otoño y la primavera. El verano puede ser considerado como el período más desfavorable para la vida del suelo. Por otro lado, constatamos que esta tendencia es independiente del nivel de biomasa microbiana del suelo (figura 3).

De este estudio, retendremos que es importante, en el marco de un seguimiento temporal de la biomasa microbiana, efectuar las tomas de muestras en los mismos períodos de un año al otro. Por otro lado, el nivel de biomasa microbiana parece muy sensible al efecto de sequedad.

Aconsejamos, por lo tanto, en medio mediterráneo, efectuar los muestreos en otoño, período donde el régimen hídrico permite garantizar mejor una buena humedad del suelo. La adquisición de normas de referencia de la biomasa microbiana parece delicada de

Figura 4

Evaluación del rendimiento microbiano

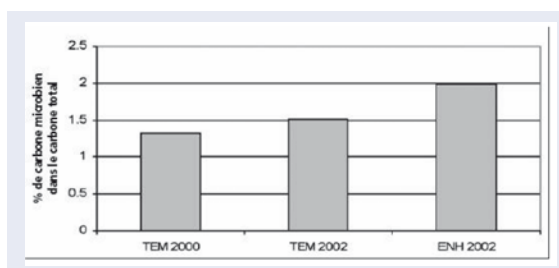
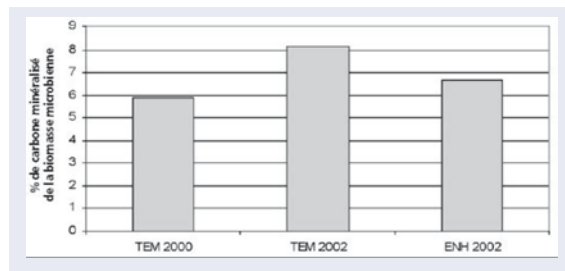


Figura 5
Evaluación de la respiración específica



elaborar. Sólo la creación de una base de datos consecuente podría permitir llegar a referencias en función de características de suelo y clima.

Concretamente, estos análisis no pueden considerarse solamente en la parcela en el marco de un seguimiento temporal.

1.5.5. Utilización de los indicadores microbiológicos

A fin de presentar cómo pueden ser utilizados los indicadores microbiológicos, tomaremos el ejemplo de una parcela experimental, comparando cobertura verde con desmalezado con herbicidas.

En este marco, se controlan 3 indicadores: el rendimiento microbiano (BM/C), la respiración específica (Cm/BM) y el pool de materias orgánicas.

El rendimiento microbiano permite evaluar la parte de carbono de origen microbiano contenida en el carbono orgánico total, que es baja. En nuestro sitio de estudio, constatamos que la realización de una cobertura verde, permitió aumentar en 0,5 % la parte de carbono vivo (figura 4).

La respiración específica corresponde a la velocidad de renovación del carbono de origen microbiano. En nuestro ejemplo, comprobamos que la realización de la siembra con hierbas (cobertura verde) no ha acelerado la renovación del carbono vivo (figura 5).

Con estos 2 indicadores, verificamos, por lo tanto, que la parte de carbono viva ha aumentado con la cobertura verde. Por el contrario, la actividad de este carbono no fue modificada.

Finalmente, el estudio de la repartición entre carbono libre (fracción mineralizable) y carbono combinado (fracción estable) fue totalmente modificado (figura 6). Con la siembra con hierbas, la parte del carbono libre pasó de 20 % a 50 %. Esta prueba confirma las observaciones precedentes, que la realización de la siembra con hierbas permitió acumular fracción mineralizable (fuente de alimento para los microorganismos), pero no ha aumentado la actividad de mineralización (actividad de los microorganismos).

En el futuro, el seguimiento de esta parcela debería permitir observar si la actividad de los microorganismos

Figura 6
Parte de carbono libre y de carbono combinado en la fracción de carbono orgánico total

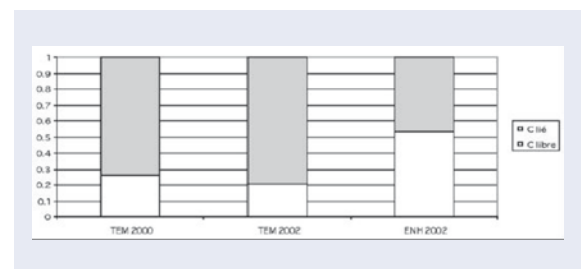


Figura 7
Abundancia total de microartrópodos

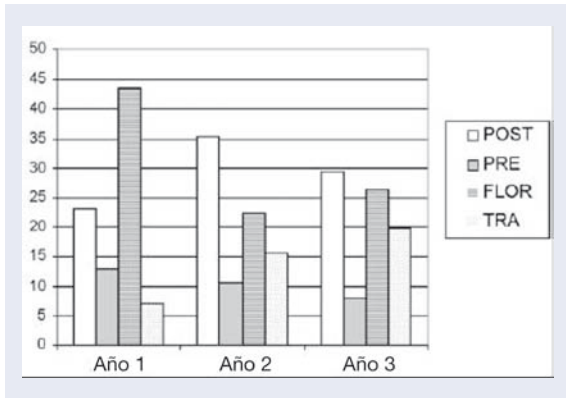
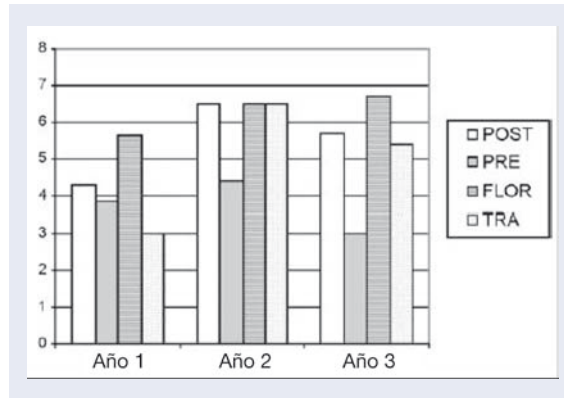


Figura 8
Riqueza específica global de microartrópodos



mos se desarrolla progresivamente. Una ausencia de desarrollo sería un signo de mal funcionamiento: el suelo acumularía materia orgánica fresca pero no sería capaz de digerirla a fin de estabilizarla y de reforzar la estructura del suelo.

1.5.6. Utilización del recuento de población: los microartrópodos.

Durante 3 años, hemos dirigido un estudio para conocer el impacto de cambio de las prácticas sobre las poblaciones de microartrópodos.

Se compararon 4 variables técnicas: el desmalezado integral (herbicidas de pre y post emergencia), una cobertura verde controlada (con herbicidas de post

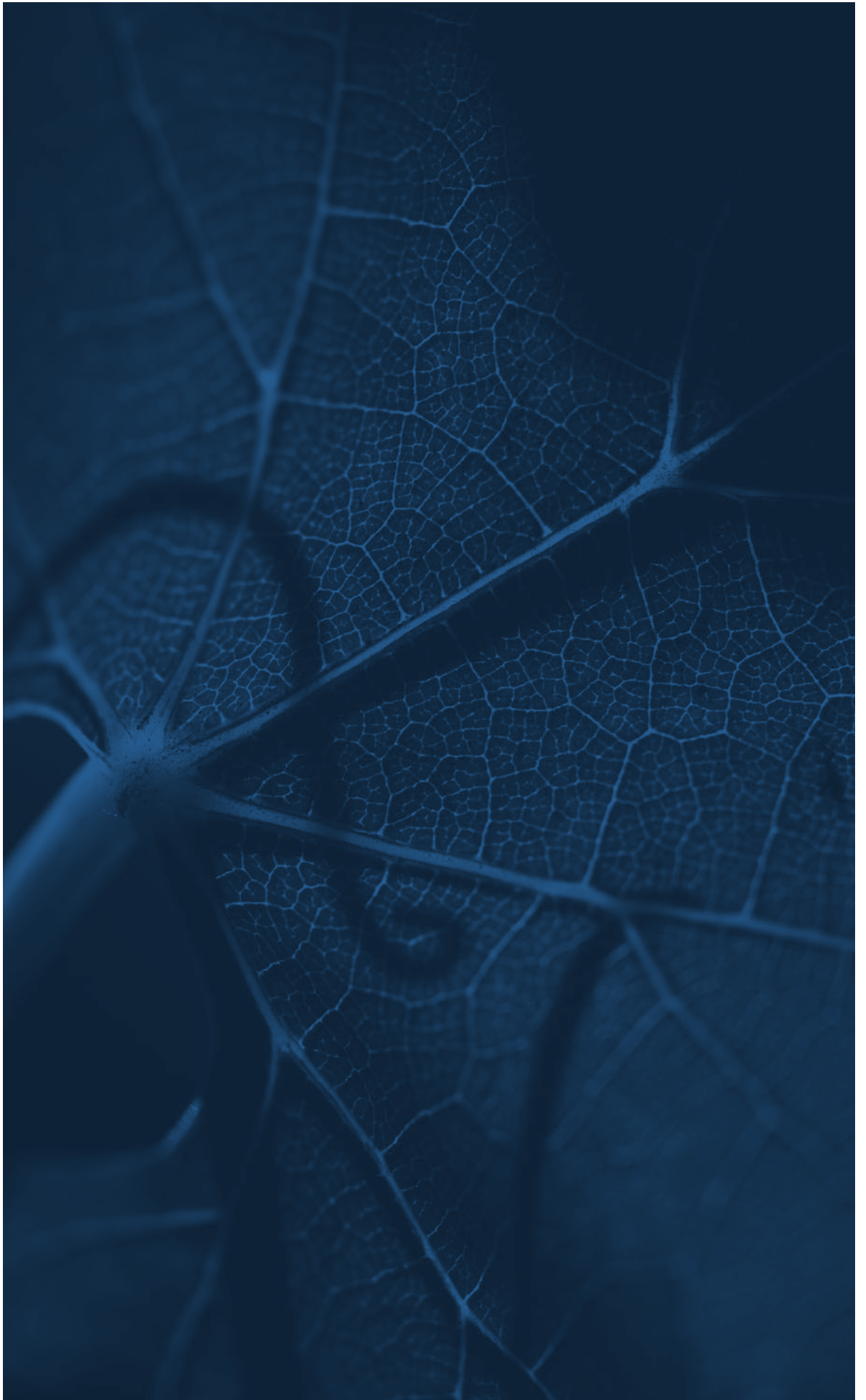
emergencia), una cobertura verde natural y el trabajo del suelo.

En síntesis, constatamos que la cobertura verde y el E.N.M., presentan una abundancia total superior (figura 7).

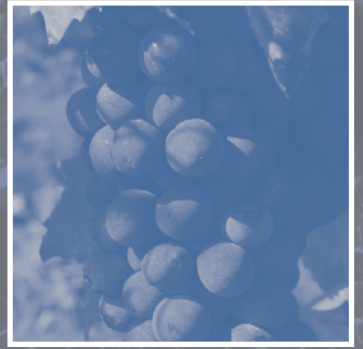
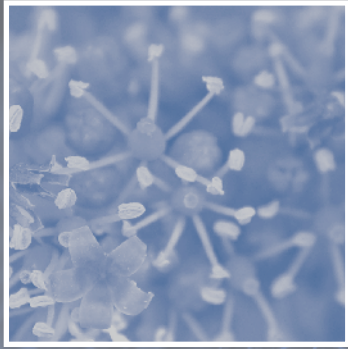
Por el contrario, solo la cobertura verde natural, presenta una riqueza específica superior al desmalezado integral (diferencia significativa) (figura 8).

Por lo tanto, el indicador del recuento de microartrópodos es sensible a cambios de prácticas de mantenimiento del suelo. Pone de manifiesto el efecto positivo (abundancia y diversidad) de la cobertura verde natural y en menor medida, de la cobertura verde controlada.

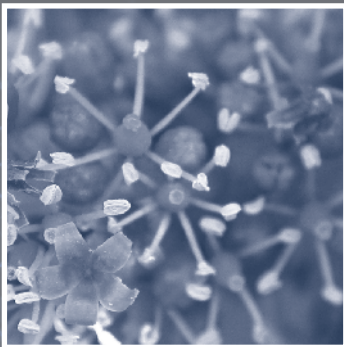




La planta y su cultivo

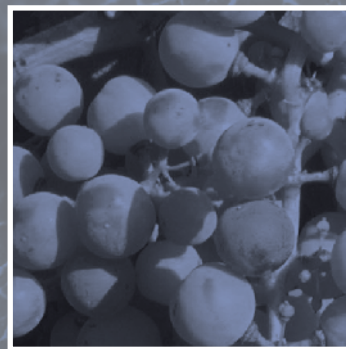
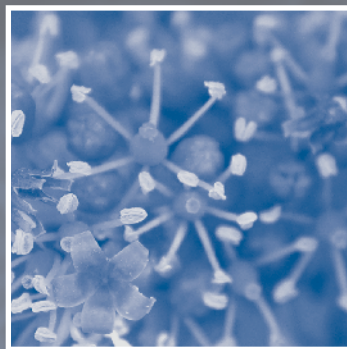
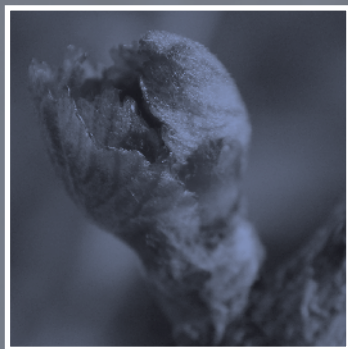


Capítulo II



- 42** **II.1. Influencia de la gestión del viñedo en la calidad de la uva.**
Stefano PONI
- 52** **II.2. Efectos de la poda en verde en la fotosíntesis del sarmiento, componentes de la cosecha y composición de la uva.**
Stefano PONI, Lorenzo CASALINI, Fabio BERNIZZONI, Silvia CIVARDI y Cesare INTRIERI
- 66** **II.3. Valoración de la eficiencia de la masa vegetal de la vid.**
Stefano PONI
- 78** **II.4. Prácticas ambientales y de gestión que afectan a la composición de la uva y a la calidad del vino.**
D. I. JACKSON y P. B. LOMBARD
- 108** **II.5. Estimación y control de la calidad de la uva en el viñedo.**
F. MARTÍNEZ DE TODA
- 116** **II.6. Estimación de la calidad de la uva en el viñedo empleando un nuevo índice vitícola.**
F. MARTÍNEZ DE TODA, J. TARDÁGUILA y J. C. SANCHA
- 124** **II.7. Estimación de la calidad de la uva tempranillo en el viñedo mediante la ficha VITUR.**
J. TARDAGUILA y F. MARTÍNEZ DE TODA
- 132** **II.8. Determinación y control del estado hídrico de la vid, efectos morfológicos y fisiológicos de la restricción hídrica en la vid.**
Hernán OJEDA, Alain DELOIRE, Zenphing WANG y Alain CARBONNEAU
- 144** **II.9. Riego cualitativo de precisión en la vid.**
Hernán OJEDA
- 154** **II.10. El control del riego en la calidad del vino.**
José Ramón LISSARRAGUE
- 164** **II.11. La gestión hídrica del viñedo.**
Stefano PONI
- 184** **II.12. Estrategias de gestión del riego en viñedos de vinificación.**
José Ramón LISSARRAGUE, Pilar BAEZA, Patricia SÁNCHEZ-DE-MIGUEL y Joan GIRONA

II.1. Influencia de la gestión del viñedo en la calidad de la uva



43	II.1.1. El concepto de “eficiencia” de la canopia
46	II.1.2. Las características de la canopia y la poda invernal: la cuestión de la longitud de la poda
47	II.1.3. Gestión de la canopia y poda estival
49	II.1.4. Conclusiones
51	II.1.5. Referencias bibliográficas

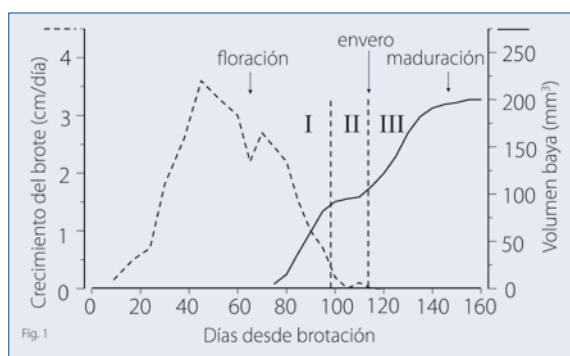


Stefano PONI
Istituto di Frutti-Viticultura,
Università Cattolica del Sacro Cuore
Piacenza, Italia.

II.1.1. El concepto de “eficiencia” de la canopia

La eficiencia de la canopia o vegetación de la vid está ciertamente influida por el sistema de conducción, aunque la “eficiencia” puede alcanzarse en diferentes formas de vid (Poni *et al.*, 2007). Determinar si una canopia es “eficiente” y cuando lo es supone un tremendo reto, ya que esta característica es fruto de una compleja interacción entre el terroir, la combinación del genotipo y del varietal, y la gestión del viñedo. Aun así, si nos concentramos en la radiación solar como el factor ambiental más influyente y partimos de un emplazamiento con una disponibilidad determinada de radiación, la canopia de la planta resulta eficiente cuando logra un equilibrio entre la interceptación de la luz más intensa, una distribución adecuada de la luz dentro de la canopia y una adecuada partición de la materia seca a los racimos y a los pámpanos. Una vez que la eficiencia de la canopia ha quedado definida en líneas generales, conviene analizar los 3 siguientes puntos de corte más técnico.

Figura 1
Modelos de crecimiento de brotes
y bayas en *Vitis vinifera* L.



II.1.1.1. Modulación del vigor de la vid

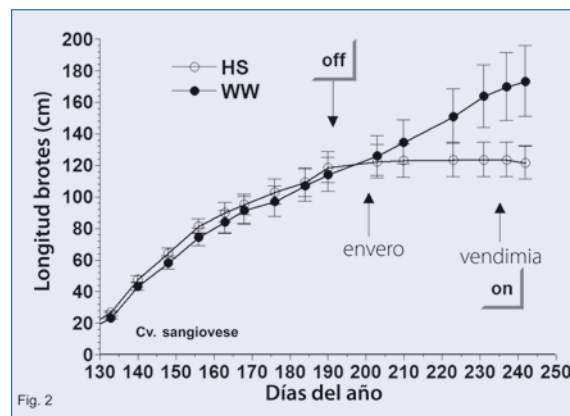
La brotación y el crecimiento de las bayas son 2 procesos fundamentales en el desarrollo de la vid, y el grado en el que se solapan durante la temporada y la duración de este solapamiento además dependen del vigor de la vid. En el caso que recoge la figura 1, ambos procesos intervienen dentro de la primera fase de crecimiento de las bayas (fase herbácea) por lo

que probablemente se darán condiciones para vides bastante equilibradas con un crecimiento vegetativo bajo (de ahí la competición hacia los racimos) del envero en adelante.

Los factores que influyen en el vigor de la vid son muchos y entre ellos están el tipo de suelo, su gestión, el portainjertos, el espaciado entre vides, el número de nudos tras la poda de invierno, el sistema de conducción, la poda de verano, los nutrientes y la disponibilidad de agua. En un contexto de cambio climático global con un paulatino ascenso de las temperaturas en las décadas venideras (Jones *et al.*, 2005), el uso del sistema de irrigación por riego deficitario controlado (RDC) se está convirtiendo en un factor crucial a la hora de regular el crecimiento de la vid y, por tanto, su vigor.

Podemos encontrar un ejemplo ideal en la figura 2 que recoge un ensayo de RDC en sangiovese (Poni *et al.*, 2007): al reducir en un 50% el suministro de agua a las vides, se frenó la brotación durante el envero.

Figura 2
Efectos del estrés hídrico (EH) en el crecimiento de brotes de cepas de sangiovese comparados con un riego abundante. Extraído de Poni *et al.*, 2007.



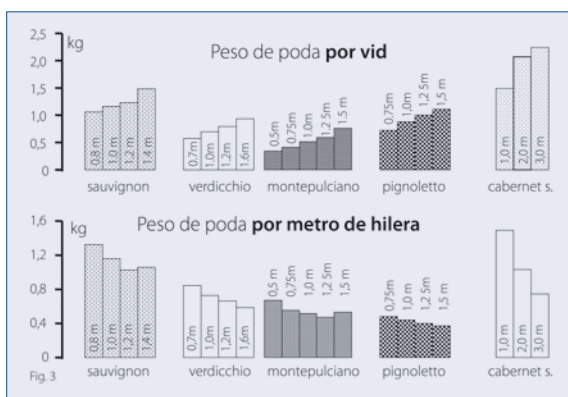
Entre los factores reguladores del vigor de la vid que se han mencionado antes, el interespaciado de las vides en la hilera juega un papel muy importante. En viticultura suele adoptarse como regla general que

una reducción en el espacio entre cepas desencadenará una competencia de las raíces que controlará el tamaño de la vid. Y esto puede ser efectivamente cierto cuando el espaciado es muy pequeño y el tipo de suelo limita el desarrollo lateral y en profundidad de las raíces. Por el contrario, si se tratase de un suelo rico en nutrientes y de textura fina, al reducir el interespaciado de las cepas en hilera podría darse el efecto contrario: pese a que cabría esperar una limitación del vigor de las plantas por la mayor competencia entre las raíces, la drástica reducción del número de yemas por vid podría contrarrestar el efecto. A menor interespaciado, el conjunto de brotes que forma la canopia termina creciendo más rápido y con mayor longitud; de ahí que implique una mayor competencia hacia los racimos y requiera, muy probablemente, más intervenciones en la poda de verano.

Un buen ejemplo de lo anterior se muestra en la figura 3 (Silvestroni y Palliotti, 2005). Un parámetro generalmente aceptado para expresar el vigor de la vid es el peso de la madera de poda recogida tras la poda invernal; pero aun así resulta crucial analizar qué unidad se escoge para expresar el vigor de la vid. Como muestra la figura 3, para viñedos con diferentes variedades y con un interespaciado variable en las hileras, si el peso de madera de poda se calcula por unidad de vid, se tiende a una relación de proporción directa con el espaciado (ej. a mayor longitud de cordón, mayor cantidad de madera de poda recogida por año); pero si los mismos datos se expresaran por metro de hilera, permitiendo por tanto una comparación homogénea entre viñedos, el resultado sería exactamente el opuesto, con vides más vigorosas a medida que se redujera la distancia entre cepas.

Figura 3

Peso de madera de poda por vid y metro de cordón recogido en diferentes espaldaras y ubicaciones. El interespaciado de las vides dentro de la hilera queda detallado en los histogramas. Para más detalles ver Silvestroni y Palliotti, 2005

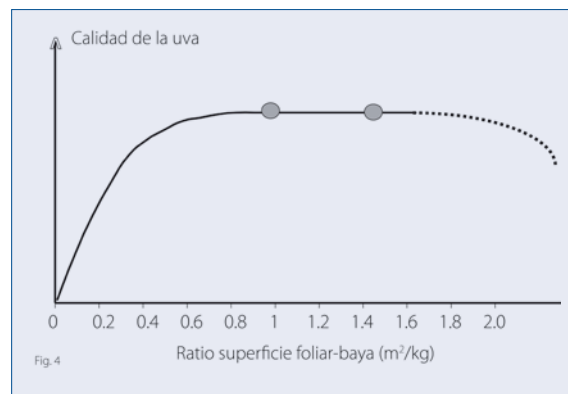


II.1.1.2. Relación hoja- baya

Muchos de los datos publicados sobre la vid establecen una relación genérica entre la calidad de la uva y el equilibrio de la vid, y normalmente se reflejan en la

relación entre “fuente” (ej. superficie total área foliar) y “sumidero” (ej. volumen de cosecha) (Kliewer y Dokozlian, 2005). Hasta el umbral de 1-1.2m²/kg, esta relación muestra un notable aumento de la calidad, más allá de esa cifra no se registran aumentos significativos en la calidad llegando incluso a descender para ratios hoja-baya (H-F) más altos (figura 4). La razón por la que la calidad se vuelva progresivamente insensible al incremento de la relación H-F es que en cualquier espaldara, la densidad del follaje alcanza su grado de optimización a un determinado vigor (ej. una media de tres capas de hojas) y una mayor acumulación de hojas no contribuye de forma sustancial a la fotosíntesis. Cuando empieza a darse un fuerte desequilibrio por exceso de superficie foliar, la calidad de la uva puede reducirse debido a diferentes mecanismos: a) Una competencia demasiado “competitiva” de los brotes influye en la acumulación de solutos en la baya b) Un sombreado excesivo de los racimos los hace más susceptibles a pudrirse; C) Una mayor tasa de respiración nocturna que incide en la disponibilidad de carbohidratos para la maduración.

Figura 4
Hipotética relación entre la relación hoja-baya (m²/kg) y la calidad de la uva



El significado fisiológico inherente a la figura 4 es que la calidad de la composición de la uva depende más del “equilibrio” entre hojas y carga de cosecha que del nivel “absoluto” de la carga de cosecha de una cepa. De ahí que resulte muy interesante el caso que se describe en la figura 5 (Chapman *et al.*, 2004) que recoge los atributos sensoriales de los vinos cabernet obtenidos de cepas de carga alta y baja. En un primer momento resulta sorprendente que las plantas de carga baja sean las que produzcan los vinos con aromas vegetales y de pimienta verde, mientras que las vides de carga alta den como resultado vinos más afrutados. Aun así, la carga baja, en este caso, se logró aumentando bruscamente la severidad de la poda –se dejaron muy pocos nudos en la vid– y pese a que, objetivamente, el nivel de la carga fue bajo, la calidad se vio afectada por una competencia excesiva de la vegetación y un sombreado excesivo. De ahí, que no sea prudente asumir que una carga baja es factor “suficiente” para asegurar una mayor calidad.

II.1.1.3. Microclima de los racimos

Aunque el calentamiento global que se viene observando desde hace 50 años, en líneas generales, parece haber redundado positivamente en la calidad del vino mundial, el pronóstico de un futuro calentamiento a escala global, continental y regional tendrá efectos beneficiosos pero también perjudiciales sobre el vino: se abrirán nuevas áreas de viticultura y aumentará la viabilidad, pero también puede que cultivar la uva adecuadamente y producir un vino de calidad suponga un auténtico reto (Jones *et al.*, 2005). En líneas generales, por ritmo y magnitud, el previsible cambio climático que se avecina tendrá más de un impacto sobre la industria del vino: supondrá una presión añadida sobre los ya escasos recursos hídricos; alterará aún más el ciclo fenológico de la vid; y distorsionará o afectará la composición equilibrada y el sabor de las uvas y el vino. Pero además podría alterar las variedades específicas de cada región; modificar, casi necesariamente, los estilos regionales de los vinos; y supondría cambios espaciales en las regiones donde es viable el cultivo de la vid.

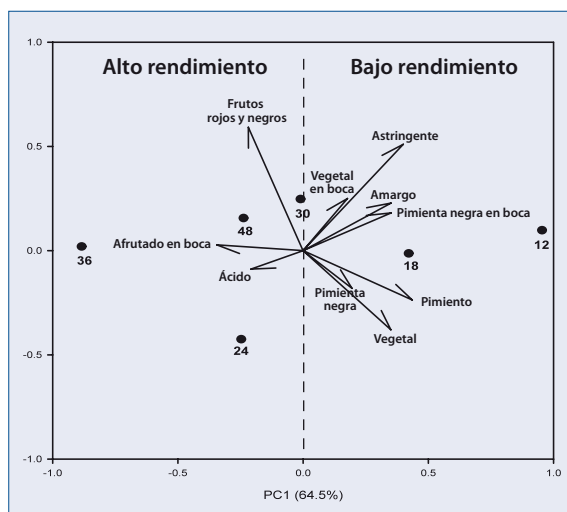
Esta previsible tendencia hacia un recalentamiento global también tendrá un impacto en el microclima del racimo idóneo para una composición óptima de la uva. Se ha creído siempre que un sombreado tupido y prolongado de los racimos tiene efectos negativos sobre la calidad de la uva y del vino. En un estudio muy reciente y muy completo llevado a cabo con shiraz (Ristic *et al.*, 2007), unos racimos previos a la floración fueron encerrados en cajas. Al compararlos con racimos que habían permanecido expuestos a la luz solar, quedó en evidencia que la sombra reduce el tamaño de las bayas, aumenta el peso de las pepitas, el pH y

la AT. Las bayas de sombra tenían un contenido de antocianos similar, más antocianos dióxigenados, más taninos en las pepitas y menos taninos en los hollejos. Los vinos producidos con frutos de sombra tienen una menor densidad de color, menos antocianos, menos taninos y menos aromas (β -damascenona y TDN). Los análisis sensoriales han revelado también índices más bajos de astringencia, menor sabor afrutado y menor persistencia del sabor.

Por el contrario, hay cada vez mayor evidencia de que las altas temperaturas (y no la exposición a una luz intensa) provocan una escasa o inadecuada coloración en variedades como el merlot (Spayed *et al.*, 2002), garnacha o cabernet sauvignon (Bergvist *et al.*, 2001) que se cultivan en ambientes cálidos. Más específicamente, en el caso del merlot (Spayed *et al.*, 2002), quedó demostrado que si se rebajaba la temperatura de la cara occidental de una hilera con orientación Sur-Norte se lograba un incremento en la pigmentación de las bayas que, a su vez, disminuía si se subía la temperatura de la cara Este de la hilera. Un estudio muy reciente de Mori *et al.* (2007) ha confirmado que si las bayas de cabernet sauvignon se mantienen a 35° C, en lugar de a la temperatura media de 25° C, después del envero se reduce en gran medida la concentración de antocianos en el fruto. Pero además, este estudio ha formulado nuevas e innovadoras hipótesis sobre las razones que provocan esa respuesta. Más detalladamente:

- Se produce un cambio en la composición de antocianos en los hollejos de las bayas que crecen a temperaturas altas. Se reduce la cantidad de todos los componentes salvo de la malvidina y sus derivados. Cabría esperar que esta modificación tuviera un efecto en el tono del vino resultante;
- La acumulación de mRNA de genes biosintéticos de antocianos y la actividad enzimática de la UFGT no se inhibieron con las altas temperaturas, lo que significa que la capacidad biosintetizadora de los antocianos continuó con las altas temperaturas. En otros genotipos (ej. Aki Queen, un cultivar tinto) las altas temperaturas reprimieron la expresión de los genes biosintéticos de los antocianos (Yamane *et al.*, 2006);
- Los antocianos C13 que fueron sintetizados antes de ser expuestos a las altas temperaturas disminuyeron de forma notable después del tratamiento con altas temperaturas. Se presupone que el ciclo de antocianos incluye varios procesos: una degradación química, una degradación enzimática y una polimerización con pro-antocianidina. Los autores sugieren que las altas temperaturas añaden tensión oxidativa a las bayas, pueden provocar peroxidación, y por tanto, degradan los antocianos del hollejo.

Figura 5
Resultado del análisis sensorial de vinos cabernet sauvignon obtenidos de plantas con alta y baja producción. Extraído de Chapman *et al.*, 2004.



De estos resultados se observa un nexo con la genómica funcional y la gestión del viñedo, y es un nexo bastante obvio: durante el verano, en un ambiente cálido, las bayas rojas o negras bien expuestas pueden alcanzar temperaturas fácilmente entre 8 y 10°C por encima de la temperatura ambiente por lo que de forma reiterada se corre el riesgo de que se produzca una degradación de los antocianos además de una alteración de la composición de los antocianos individuales. Estrictamente hablando, es muy probable que el ambiente ideal para uvas cultivadas en ambientes cálidos se pareciera al que recoge la foto 1, donde los racimos están normalmente expuestos a una luz difusa. Aun así, los frutos están bastante ventilados, el contacto entre racimos es muy limitado y los rayos de sol penetran en la canopia desde distintas direcciones. Este tipo de microclima se consigue más fácilmente con una espaldera de cordón libre que potencia el follaje vertical.

II.1.2. Las características de la canopia y la poda invernal: la cuestión de la longitud de la poda

Aunque la “gestión de la canopia” está más relacionada con las operaciones de la poda estival, las decisiones que se toman durante la poda de invierno (número de nudos, longitud de la poda, la posición de los pulgares y las varas, etc.) pueden tener una influencia determinante en el crecimiento de la canopia, en la producción y en la composición final de la uva. En este sentido, uno de los temas más debatidos, y aún por resolver, es la elección entre poda corta (en pulgar) o larga. Muchos viticultores están tentados para convertir los sistemas de conducción Guyot en espalderas con cordón espolonado ya que la gestión de la carga de éstas, hoy en día, puede regularse fácilmente con 40-50 horas/ha frente a las 90-110 horas/ha necesarias para gestionar un sistema de varas sustituidas anualmente. Aun así, hay dudas sobre la capacidad de adaptación productiva de las vides sometidas a una poda corta y el impacto que tiene sobre la calidad de la uva. Objetivamente falta una investigación que compare vides conducidas en Guyot con vides en cordón espolonado bajo unas mismas condiciones culturales (ej. misma altura de la canopia y mismo interespaciado dentro de la hilera). La tabla 1 recoge datos todavía inéditos precisamente sobre esta comparación. El ensayo se llevó a cabo durante

Foto 1
Canopia vertical de vides de cabernet sauvignon guiadas en espaldera de cordón simple.



un período de 3 años en la zona de Colli Piacentini en Italia con el cv. barbera. Es interesante comprobar que con la poda en pulgar se obtiene una brotación mucho más numerosa de pámpanos, pero el sistema Guyot garantiza una mayor fertilidad de las yemas y racimos más grandes con lo que la situación se equilibra, y el resultado final es una producción por vid muy parecida entre las 2 espalderas. Como consecuencia, es conveniente observar que tampoco difieren en cuanto a composición de la uva, sólidos solubles del mosto y concentración de antocianos. En líneas generales, esta comparación inclinaría la balanza a favor de una conversión de poda larga a poda en pulgar, ya que en la espaldera podada en pulgar, la relación producción/calidad básicamente se mantiene inalterada pero implica un significativo ahorro de mano de obra.

Por lo que respecta a la viabilidad de poda corta frente a poda larga, convendría apuntar que la última está considerada como un tipo de poda “fácil” y por lo tanto está muy extendida; pero no es el caso de la poda corta que por lo común todavía suscita “miedo” a provocar una reducción drástica de la producción por una selección insuficiente de nudos fértiles o mie-

Tabla 1
Resultado del análisis sensorial de vinos cabernet sauvignon obtenidos de plantas con alta y baja producción.
Extraído de Chapman *et al.*, 2004.

	Racimo/ cepa	Racimo/ sarmiento	Racimo/ cepa	Peso del racimo (g)	Peso de la baya (g)	Rendimiento/ cepa (kg)	°Brix	Antocianos (mg/g)
VSP	45.6 a	0.55 b	26.2 a	187 b	2.08	6.1	22.8	1.55
Guyot	14.0 b	1.34 a	21.3 b	253 a	2.06	6.5	22.0	1.52
t-test	**	**	*	**	ns	ns	ns	ns

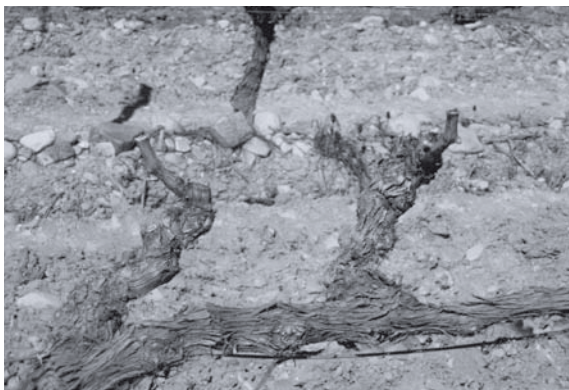
do a que se dé una pérdida progresiva de productividad del cordón a lo largo del tiempo. Normalmente se siguen 2 planteamientos para gestionar el cordón (foto 2); la primera opción consiste en seleccionar pulgares de la vara apical e ir "construyendo" con el tiempo un marco de madera vieja que mantenga al pulgar (arriba). Esta estrategia es probablemente más fácil de llevar a cabo y ciertamente, a medio y largo plazo, palió la necesidad de eliminar los sarmientos y chupones manualmente. Aun así, existe un alto riesgo de que algunos sectores del cordón se queden vacíos (y pierdan con ello su productividad) porque, por una razón cualquiera, una cantidad inadecuada de madera nueva se encuentra donde un pulgar. A la inversa (foto 2, abajo), podría optarse por una poda muy corta (incluso a un nudo por pulgar en las variedades más fructíferas) esto, aunque haría claramente inevitable la posterior colocación manual de los sarmientos y madera vieja, garantiza un mejor mantenimiento del cordón ya que la renovación de pulgares suele darse en varas de brotes basales. Por lo que se puede deducir que un crecimiento vegetativo uniforme del conjunto de brotes que compone la canopia también augura una maduración más equilibrada.

II.1.3. Gestión de la canopia y poda estival

Toda operación de poda estival o poda en verde tiene el potencial de modificar, en diferentes fases, la fisiología de la canopia y, como consecuencia, la compo-

Foto 2

2 formas diferentes de gestión de la poda invernal en cordón espolonado. Pulgares sostenidos sobre un marco de madera vieja (arriba) o pulgares renovados a partir de yemas basales muy próximas al cordón.



sición de la uva. En este documento, nos concentraremos en la colocación y atadura de los sarmientos, el despunte y el deshojado temprano.

II.1.3.1. Colocación de los sarmientos

Esta operación se realiza de forma rutinaria en las canopias con un posicionamiento vertical de brotes (VSP) con el objetivo de enraizar los brotes en vertical y evitar que se descuelguen sobre las calles. Además, una colocación correcta y oportuna de los sarmientos facilita y mejora los resultados de cualquier despunte posterior. La colocación de los sarmientos se logra a menudo con la ayuda de parejas de alambres móviles que atrapan los sarmientos una vez que estos son elevados hasta lo alto de la canopia. Lo que parece más aconsejable sería colocar el último par de alambres móviles casi en el extremo superior del poste, para maximizar el área de canopia fotosintética. La colocación de los sarmientos puede ser mecanizada, y en menos de 2 horas/ha las máquinas pueden levantar los sarmientos colgantes, y colocar a cada lado de la espaldera una banda de plástico que recogen la vegetación entre ellas a distancias pre-establecidas utilizando abrazaderas de metal o plástico.

Si bien no hay discusión sobre la necesidad de colocar los sarmientos (especialmente en casos de exceso de vigor), se sabe muy poco sobre los efectos fisiológicos que tiene sobre la fisiología de la canopia. La figura 6 recoge las curvas de tendencia de respuesta lumínica de una hoja individual y de 2 canopias con un sistema de conducción diferente (VSP frente a crecimiento libre). Aunque no sorprende comprobar que la fotosíntesis aumenta con el incremento de luz de una forma más gradual en el caso de las canopias completas, sí que conviene resaltar que la canopia forzada entre los 2 alambres de sujeción tiene una tasa de fotosíntesis aproximadamente un 26% más baja que la canopia que crece libremente (Poni e Intriari, 2001). Esta diferencia muy probablemente se deba a que llega menos luz al interior de la canopia en la espaldera VSP.

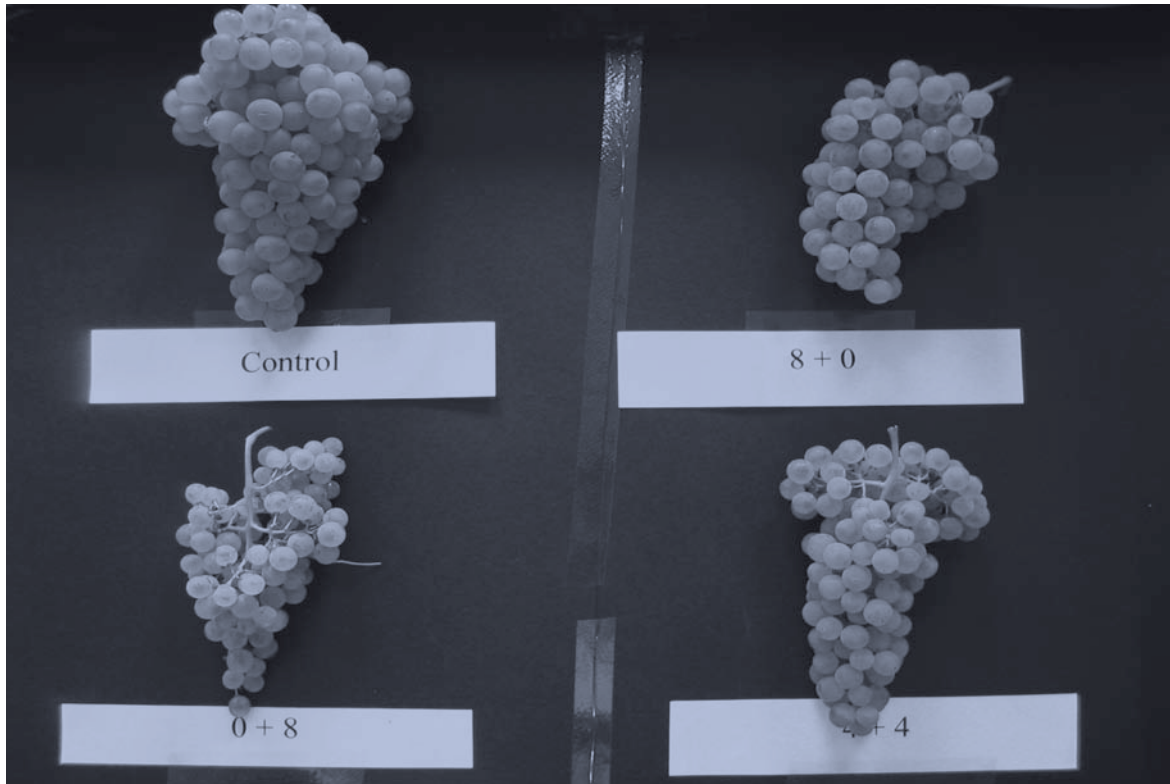
Foto 3

Un sarmiento despuntado donde se aprecia el fuerte recrecimiento de los brotes laterales.



Foto 4

Morfología de un racimo en el estudio del deshojado temprano de trebbiano: 100% - I (supresión de las primeras 8 hojas basales antes de la floración); 100% - II (supresión de las primeras 8 hojas en el cuajado); 50% I-II (supresión de 4 hojas basales antes de la floración y de las 4 restantes en el cuajado). Extraído de Poni *et al.*, 2006.

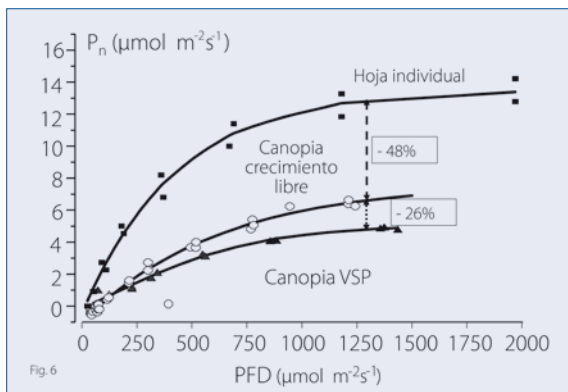


II.1.3.2. Despunte

El despunte es probablemente la operación de poda estival que se da con más frecuencia en un viñedo. Se han desarrollado modelos de despunte mecanizado muy fiables (montando en los tractores barras de corte o cuchillas giratorias) que han permitido un planteamiento mecanizado muy eficiente y rápido (1-2 horas/ha), y la calidad final del resultado no difiere en absoluto de la poda manual. La necesidad del despunte debería limitarse a determinadas situaciones: limitación espacial del crecimiento de la canopia, mejor cuajado de la fruta y un crecimiento vertical de los brotes, o una mayor eficiencia en la cosecha manual y mecanizada.

Todo despunte tiene un gran impacto en la fisiología de la canopia ya que se alteran dinámicamente tanto el área foliar total como su demografía. Observando la foto 3 se puede concluir que la supresión del ápice de los pámpanos y de un número variable de hojas jóvenes reduce (aunque no drásticamente) el área foliar y, por tanto, también la interceptación de la luz, aunque la edad media de los brotes aumenta de repente. Así que, dependiendo de la longitud del re-crecimiento lateral y de lo rápido que se produzca, la canopia rejuvenece y el área foliar total se recupera. El momento y la severidad con que se lleva a cabo el despunte son decisiones cruciales, aunque en los sistemas VSP el viticultor los controla sólo de forma parcial porque es la propia vid la que regula cuándo los brotes sobrepasan los alambres superiores y pueden ser despuntados mecánicamente. Es entonces cuando se hace coincidir la altura del despunte con la distancia entre el cordón y la posición de poda por encima de la canopia. Por lo tanto, si la espaldera tiene la estructura correcta (por lo menos 1-1,2 m de pared por encima del cordón) el número de hojas principales de cada sarmiento suele ser suficiente para garantizar una maduración adecuada. De todos modos, la situación ideal se da cuando el despunte se realiza lo suficientemente pronto como para inducir el crecimiento con el que se alcanza la plena maduración (en torno a los 30-40 días) cerca del envero. Si el despunte se lleva a cabo en un sistema de crecimiento libre (vaso o vid en espaldera de

Figura 6



cordón libre), el momento y la severidad de la poda adquieren una importancia crítica ya que ambas opciones dependen enteramente de los viticultores. Por lo general, debería evitarse un despunte tardío o demasiado severo.

II.1.3.3. Deshojado

Una de las operaciones de poda estival más comunes en las zonas vitivinícolas es el deshojado en la zona del fruto, tanto manual como mecanizado (Bledsoe *et al.*, 1988; Kliewer y Antcliff, 1970; Koblet, 1996; Percival *et al.*, 1994; Reynolds *et al.*, 1996; Smart, 1985; Zoeclein *et al.*, 1992). Aunque esta práctica puede perseguir diferentes objetivos, normalmente se emplea en canopias con una gran densidad de follaje desde el momento del cuajado hasta el envero para lograr una mejor exposición a la luz solar y mayor aireación en torno a los racimos, lo que supone beneficios sustanciales en términos de pigmentación y resistencia a la pudrición. El deshojado no garantiza necesariamente una mejor composición de la uva (Percival *et al.*, 1994), y cuando ésta se da, suele ser una consecuencia indirecta de una mejora en el microclima del racimo. De hecho, un deshojado excesivo que sobreexponga los racimos a la luz puede dar lugar a una pigmentación escasa en las bayas de variedades tintas (Bergqvist *et al.*, 2001).

La efectividad de un deshojado temprano en variedades de alto rendimiento de sangiovese y trebbiano (*Vitis vinifera* L.) se plantea como un instrumento para reducir la carga de cosecha potencial y para favorecer racimos más sueltos y con mayor resistencia a la pudrición. Tanto el cuajado (foto 4), como el peso del racimo, el número de bayas por racimo, el tamaño de las bayas, y el grado de compacidad del racimo disminuyeron con todos los tratamientos de deshojado, si se comparan con los sarmientos sin deshojar. Una evaluación fisiológica realizada a lo largo de un año sobre sangiovese revela que la supresión antes de la floración de 6 hojas basales no suscitó ninguna diferencia por brote en plena asimilación estacional (A) (2,91 $\mu\text{mol s}^{-1}$ para control frente a 2,81 $\mu\text{mol s}^{-1}$ del deshojado). Esto se debe a que después del envero, en los brotes deshojados, el crecimiento de vigorosos brotes laterales tuvo un efecto compensatorio y se registraron niveles más altos de A tanto para las hojas principales como para las laterales. La composición de la uva mejoró con el deshojado ($^{\circ}\text{Brix}$ más altos en ambos varietales y un índice de antocianos y de compuestos fenólicos más alto en sangiovese) ya que había más asimilados por unidad de carga y bayas más pequeñas con una relación hollejo-pulpa más alta. Los 3 años de estudio sobre la variedad trebbiano demostraron además que el deshojado no tenía consecuencias sobre la diferenciación de yemas de la siguiente cosecha y muy pocas interacciones por año y tratamiento, lo que sugiere que

los efectos del deshojado prevalecen sobre la variabilidad climática. En líneas generales, el deshojado puede ser un instrumento perfecto para controlar la producción, en sustitución del aclareo manual de racimos que implica muchas horas de trabajo. El panorama sugiere que esta práctica también podría mejorar la composición de la uva.

Un estudio muy reciente con sangiovese (Intrieri *et al.*, 2008) ha demostrado además que incluso el deshojado temprano mecanizado es viable y que es casi igual de beneficioso que la supresión manual. De hecho, una supresión mecanizada, rápida, que controla la producción e incrementa la calidad sin los elevados costes de un aclareo manual de los brotes y racimos, resulta muy atractiva y su número de usuarios potenciales es cada vez mayor. Aun así, la calidad del deshojado mecanizado necesita mejorar en términos de selectividad de la hoja frente al racimo, optimizando el sistema de espaldera y de supresión de las hojas (aspiración/soplado), y la idoneidad del varietal, ya que los mejores genotipos son aquellos con las inflorescencias más verticales en floración porque se reducen las posibilidades de dañar los racimos.

II.1.4. Conclusiones

Hay 3 puntos importantes que resaltar cuando se afronta la gestión de la canopia con el objetivo de mejorar la composición de la uva y del vino:

- 1) En el futuro habrá que prestar más atención al papel que juega el equilibrio de la vid y a los métodos disponibles para calcularlo o medirlo. Asumir que, de forma inherente, las vides con una baja carga de cosecha garantizan una uva y un vino de calidad es un planteamiento demasiado simplista, ya que también tendrían que tenerse en cuenta el correspondiente crecimiento vegetativo y el grado de vigor.
- 2) Tendrán que investigarse nuevas estrategias de gestión de follaje en respuesta al cambio climático que prevé, para el año 2100, un calentamiento promedio de 0,4°C por década. Aunque en algunos casos se ampliará el número de variedades potenciales que podrán madurar en una determinada región, si la zona fuera de clima muy cálido y la temperatura subiera por encima de lo que se considera viable, el cultivo de la uva podría verse comprometido o volverse completamente imposible. En climas cálidos con veranos tórridos, la gestión de la canopia tendrá que adaptarse para proteger mejor el racimo del calor y de una radiación excesiva. Un régimen prevalente de luz difusa, con algunos rayos de sol alcanzando los frutos sería la condición cultural deseable tanto para las variedades tintas como para las blancas.



3) La mecanización de la poda de invierno y de la de verano adquirirá cada vez más importancia, especialmente en países viticultores donde la mano de obra escasea y se encarece cada vez más. Aun así, el reto no será tanto la forma de llevar a cabo esta mecanización desde el punto de vista técnico, sino más bien entender

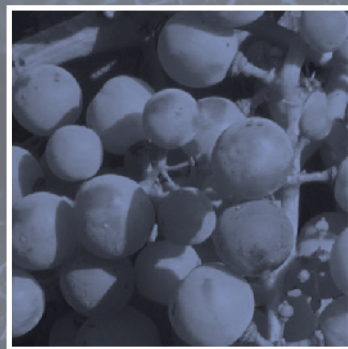
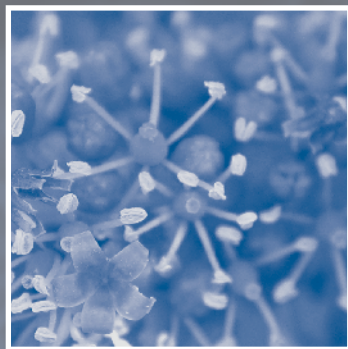
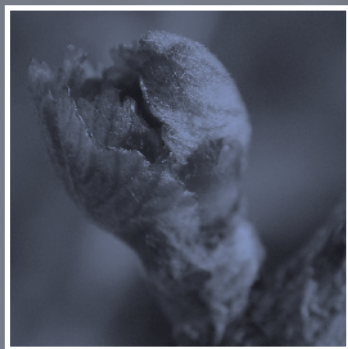
si el comportamiento fisiológico de las vides tratadas mecánicamente interactúa con la calidad de la uva. En este sentido, los resultados obtenidos recientemente con un deshojado temprano de la canopia son un excelente ejemplo de control mejorado de la carga y de la calidad.



II.1.5. Referencias bibliográficas

- Bergqvist J.N., Dokoozlian N., Ebisuda N. 2001.** Sunlight exposure and temperature effects on berry growth and composition of Cabernet Sauvignon and Grenache in the Central San Joaquin Valley in California. *Am. J. Enol. Vitic.* 52, 1-7.
- Bledsoe, A. M., W.M. Kliewer, and J.J. Marois. 1988.** Effects of timing and severity of leaf removal on yield and fruit composition of Sauvignon blanc grapevines. *Am. J. Enol. Vitic.* 1: 49-54
- Chapman D.M., Matthews M.A., Guinard, J.X. 2004.** Sensory attributes of Cabernet Sauvignon wine made from vines with different crop yield. *Am. J. Enol. Vitic.* 55, 325-334.
- Intrieri C., Filippetti I., Allegro G., Centinari M., Poni S. 2008.** Early defoliation (hand vs mechanical) for improbe control and grape composition in Sangiovese (*Vitis vinifera* L.). *Austr. J. Grape and Wine Res.* 14, 25-32.
- Jones, G.V., White, M.A., Cooper, O.R., and K. Storckmann (2005a).** Climate Change and Global Wine Quality. *Climatic Change*, 73(3): 319-343.
- Kliewer, W. M. and Dokoozlian, N.K. 2005.** Leaf area/crop weight ratios of grapevines: Influence on fruit composition and wine quality . *Am. J. Enol. Vitic.* 56: 170-181.
- Kliewer, W.M. and A.J. Antcliff. 1970.** Influence of defoliation, leaf darkening and cluster shading on the growth and composition of Sultana grapes. *Am. J. Enol. Vitic.* 21: 26-36
- Koblet W. 1996.** How do grapevines respond to altered source/sink ratios and unfavourable environmental conditions? *In Proceedings for the Fourth International Symposium on Cool Climate Enology and Viticulture. T. Henick-Kling et al. (Eds.), pp. II 1-8. New York State Agriculture Experiment Station.*
- Mori K., Yamamoto N.G., Kitayama M., Hashizume K. 2007.** Loss of anthocyanins in red-wine grape under high temperature. *J. Expt. Bot.* 58, 1935-1945.
- Percival, D.C., K.H. Fisher, and J.A. Sullivan. 1994.** Use of fruit zone leaf removal with *Vitis vinifera* L.cv. *Riesling* grapevines. II. Effect on fruit composition, yield, and occurrence of bunch rot (*Botrytis cinerea* Pers.: Fr.). *Am. J. Enol. Vitic.* 45: 133-139.
- Poni S., Bernizzoni F., Civardi S. 2007.** Response of "Sangiovese" grapevines to partial root-zone drying: Gas Exchange, growth and grape composition. *Sci. Hort.* 114, 96-103.
- Poni S., Bernizzoni F., Civardi S. 2007.** The issue of canopy efficiency in the grapevine: assessment and approaches for its improvement. *Acta Hort.* 754, 163-174.
- Poni S., Casalini L., Bernizzoni F., Civardi S., Intrieri C. 2006.** Effects of early defoliation on shoot photosynthesis, yield components and grape composition. *Am. J. Enol. Vitic.* 57, 397-407.
- Poni, S. and Intrieri C. 2001.** Grapevine photosynthesis: effects linked to light radiation and leaf age. *Adv. Hort. Sci.* 15: 5-15.
- Reynolds, A.G., D.A., Wardle, and A.P. Naylor. 1996.** Impact of training system, vine spacing, and basal leaf removal on Riesling. *Vine performance, berry composition, canopy microclimate, and vineyard labor requirements.* *Am. J. Enol.Vitic.* 47: 63-76.
- Ristic R., Downey M.O., Iland P.G., Bindon K., Francis I.L., Herderich M., Robinson S. 2007.** Exclusion of sunlight from Shiraz grapes alters wine colour, tannin and sensory properties. *Austr. J. Grape and Wine Res.* 13, 53-65.
- Silvestroni O., Palliotti A. 2005.** Distanze di impianto. *In: Manuale di viticoltura: impianto, gestione e difesa del vigneto. Ed. Agricole, Bologna, p. 135-154.*
- Smart, R.E. 1985.** Principles of grapevine canopy microclimate with implications for yield and quality: a review. *Am. J. Enol.Vitic.* 36: 230-239.
- Spayed S.E., Tarara J.M., Mee D.L., Ferguson J.C. 2002.** Separation of sunlight and temperature effects on the composition of *Vitis vinifera* cv. *Merlot* berries. *Am. J. Enol. Vitic.* 53, 171-182.
- Yamane T., Jeong S.T., Goto-Yamamoto N., Koshita Y., Kobayashi S. 2006.** Effects of temperature on anthocyanins biosynthesis in grape berry skin. *Am. J. Enol. Vitic.* 57, 54-59.
- Zoecklein, P.W., T.K. Wolf, N.W. Duncan, J.M. Judge, and M.K.Cooke. 1992.** Effects of fruit zone leaf removal on yield, fruit composition and fruit rot incidence of Chardonnay and White Riesling (*Vitis vinifera* L.) grapes. *Am. J. Enol. Vitic.* 43, 139-148.

II.2. Efectos de la poda en verde en la fotosíntesis del sarmiento, componentes de la cosecha y la composición de la uva



54	II.2.1. Materiales y métodos
56	II.2.2. Resultados
59	II.2.3. Discusión
63	II.2.4. Conclusiones.
63	II.2.5. Referencias bibliográficas



Stefano PONI *
Lorenzo CASALINI¹
Fabio Bernizzoni¹
Silvia Civardi¹
Cesare Intrieri¹

Original publicado en American Journal of Enology and Viticulture 2006, vol 57 nº4

Se investigó la efectividad de un deshojado temprano en cultivos de alto rendimiento de sangiovese y trebbiano (*Vitis vinifera* L.) como instrumento para reducir el potencial de carga de cosecha y para producir racimos más sueltos, y por tanto más resistentes a la podredumbre. Tanto el cuajado, como el peso del racimo, el número de bayas por racimo, el tamaño de las bayas y el grado de compacidad del racimo disminuyeron con todos los tratamientos de deshojado, si se comparan con los sarmientos sin deshojar. Una evaluación fisiológica realizada a lo largo de un año sobre sangiovese revela que la supresión antes de la floración de 6 hojas basales no suscitó ninguna diferencia por brote sobre la media de la asimilación estacional (A) ($2,91 \mu\text{mol s}^{-1}$ para control frente a $2,81 \mu\text{mol s}^{-1}$ del defoliado). Esto se debe a que después del envero, en los brotes deshojados, el crecimiento de vigorosos brotes laterales tuvo un efecto compensatorio y se registraron niveles más altos de (A) tanto para las hojas principales como para las laterales. La composición de la uva mejoró con el deshojado ($^{\circ}\text{Brix}$ más altos en ambos cultivos y un índice de antocianos y de compuestos fenólicos más alto en sangiovese) ya que había más asimilados por unidad de carga y bayas más pequeñas con una mayor relación hollejo-pulpa. Los 3 años de estudio sobre la variedad trebbiano demostraron además que el deshojado no tenía consecuencias sobre la diferenciación de yemas de la siguiente cosecha y muy pocas interacciones por año y tratamiento, lo que sugiere que los efectos del deshojado prevalecen sobre la variabilidad climática. En líneas generales, el deshojado puede ser un instrumento perfecto para controlar la producción, en sustitución del aclareo manual de racimos que implica muchas horas de trabajo. El panorama sugiere que esta práctica también podría mejorar la composición de la uva.

Una de las operaciones estivales de gestión de la vegetación más comunes en viticultura es la supresión de hojas en la zona de los frutos, ya sea manual o mecanizada (Bledsoe et al., 1988; Kliewer y Antcliff, 1970; Koblet, 1996; Percival et al., 1994; Reynolds et al., 1996; Smart, 1985; Zoecklein et al., 1992). Aunque esta práctica puede perseguir diferentes objetivos, normalmente se utiliza desde el cuajado hasta el envero en viñedos con una gran densidad de follaje, para lograr una mejor exposición a la luz y mayor aireación en torno a los racimos, lo que supone beneficios sustanciales en términos de pigmentación y resistencia a la podredumbre. (Bledsoe et al., 1988; Reynolds et al., 1996; Smart, 1985). Aun así, el deshojado no garantiza necesariamente una mejor composición de la uva (Percival et al., 1994), y cuando ésta se da, suele ser una consecuencia indirecta de una mejora en el microclima del racimo. De hecho, un deshojado excesivo que sobreexponga los racimos a la luz puede dar lugar a una pigmentación escasa en las bayas de variedades tintas (Price et al., 1995). Un estudio reciente ha descubierto que la supresión de hojas del cuarto inferior del dosel durante la fase de parada del crecimiento de las bayas provocó un descenso significativo de la tasa de fotosíntesis de toda la vid, incluso de la tasa calculada por unidad de área foliar, lo que sugiere que la parte inferior de la planta contribuía más que la superior al ciclo del carbono (Petrie et al., 2003). Esto podría explicarse porque aunque las hojas eliminadas con el deshojado sean basales, y por tanto más viejas, también son las más grandes del sarmiento y su tamaño podría compensar tasas de fotosíntesis más bajas. Además, la supresión de todas las hojas en la zona de los frutos expondría los racimos a una luz directa, y en climas cálidos podría comprometer la composición por exceso de temperatura en las bayas, lo que po-

¹ Instituto di Frutti-Viticultura, Università Cattolica del Sacro Cuore, Via Emilia Parmense 84, 29100 Piacenza, Italia;

* Autor para la correspondencia [e-mail: stefano.poni@unicatt.it]

² Dipartimento di Colture Arboree, Sezione Viticola del Centro Interdipartimentale di Ricerche Viticole ed Enologiche, Università di Bologna, Viale Fanin 46, Bologna, Italia

Agradecimientos: Los autores quieren agradecer a David Verzoni su labor de edición del artículo en inglés, y a la viña Cenni la cesión de sus parcelas de viñedos.

dría dificultar la formación del color y provocar una fuerte caída en las concentraciones de ácido málico (Bergqvist et al., 2001).

Los efectos que el deshojado tiene sobre el rendimiento pueden variar bastante según el momento en el que se realice y la severidad con la que se lleve a cabo. La disponibilidad de carbohidratos durante la floración es un factor determinante para el cuajado (Caspari y Lang, 1996; Coombe, 1959), y un deshojado temprano (ej. dentro de las 4 semanas siguientes a la floración) por lo general reduce el rendimiento y la cantidad total de azúcares por vid (Hunter y Visser, 1990; Kliewer y Antcliff, 1970; May et al., 1969). Pero si el deshojado se llevara a cabo más tarde y/o de una forma mínima, el rendimiento podría mantenerse inalterado (Bledsoe et al., 1988; Hunter y Visser, 1990; Smith et al., 1988) o incluso crecer si se compara con vides no defoliadas (Zoecklein et al., 1992). La variabilidad del efecto que el deshojado tiene sobre el rendimiento y sus componentes depende probablemente de los efectos negativos que se den sobre el cuajado y el crecimiento de las bayas en el año corriente y los efectos positivos sobre la inducción de las yemas y su diferenciación para la siguiente cosecha mediante una mejora del microclima del viñedo.

La relación funcional que se establece entre la disponibilidad de fuentes cerca de la floración y el rendimiento (Caspari y Lang, 1996; Coombe, 1959; Kliewer, 1970; May et al., 1969, Petrie et al., 2003) implica, de forma inherente, que el deshojado que se lleva a cabo cerca de floración puede disminuir el cuajado, lo que daría lugar a racimos más sueltos. Este planteamiento podría resultar muy útil en entornos de rendimientos altos y en viñedos caracterizados por racimos grandes y excesivamente compactos con un riesgo considerable de infección por podredumbre, llegando tal vez incluso a evitar el laborioso y costoso aclareo de racimos. Aunque las investigaciones preliminares han demostrado lo útil que puede resultar un deshojado temprano a la hora de controlar el rendimiento a la vez que mejora la composición del mosto y reduce el riesgo de Botrytis (Prior, 2003; Poni et al., 2005), no han considerado los cambios fisiológicos que esta práctica puede provocar ni han aportado observaciones sobre sus efectos a largo plazo. De ahí, que la presente obra se plantee con los siguientes objetivos: (1) investigar las modificaciones estacionales que el deshojado temprano provoca sobre la fotosíntesis de los brotes y valorar posibles correlaciones con los componentes del rendimiento y la composición de las uvas de cepas de sangiovese cultivadas en maceta, y (2) determinar los efectos que tienen distintos tipos de tratamientos de deshojado temprano sobre vides de trebbiano cultivadas en campo a lo largo de un período relativamente largo.

II.2.1. Materiales y métodos

Estudio en maceta: Este ensayo se llevó a cabo en 2005 cerca de Piacenza, Italia (lat: 44°55'N; long: 9°44'E), en cepas de sangiovese (*Vitis vinifera* L.) de 5 años (clon 12T sobre SO4) cultivadas al aire libre en macetas de 70 L envueltas en papel de aluminio para evitar un recalentamiento del sistema radicular. Se eligió sangiovese porque es la variedad tinta más popular en Italia (con una superficie actual de aprox. 70.000 ha) y porque es la base de vinos tan prestigiosos como Brunello y Chianti, y se caracteriza por racimos muy compactos y muy susceptibles a la podredumbre. Además, dada la alta fertilidad de sus yemas, la sangiovese tiende con facilidad a la sobrecarga, especialmente cuando se cultiva en suelos vigorosos. Los objetivos específicos del estudio en maceta pasaban por aclarar las bases fisiológicas de un deshojado temprano y establecer correlaciones con la composición final de la uva.

6 vides conducidas en Guyot bilateral (longitud total de la vara ~2m/vid) dispuestas en una sola hilera con orientación SE-NO (35°). Los pámpanos se fijaron verticalmente entre alambres de sujeción hasta una altura máxima de 1,8 m. Para imitar las condiciones de campo, las hileras fronterizas se compusieron con más vides de la misma variedad a 2 m de la hilera del ensayo. Las vides se protegieron de los destrozos del granizo con una malla blanca (con un 90% de transmisión lumínica/que dejaba pasar el 90% de la luz) y se regaron dos veces al día con microgoteros que aportaron unos 6 L de agua al día. Los tratamientos antiplaga se aplicaron según las costumbres locales; y no se utilizaron sprays para prevenir la Botrytis (Regione Emilia-Romagna, 2006).

Cuando los brotes alcanzaron el estadio G (racimos separados) (Baggiolini, 1952), se llevó a cabo el aclareo de brotes en cada vid, de forma que quedaran cerca de 30 brotes por vid (15 por metro de vara), y los racimos se aclarearon de forma manual a una inflorescencia por brote. El día 145 (25 de mayo) del año (DDA), correspondiente con la etapa H (botones florales separados) (Baggiolini, 1952), de forma completamente arbitraria se eligieron 3 vides para ser sometidas a un tratamiento de deshojado que consistió en la supresión de las primeras 6 hojas basales principales de cada pámpano, mientras que las otras 3 vides no fueron defoliadas. Simultáneamente, se eligieron al azar 6 pámpanos por vid y se marcaron para posteriores mediciones pormenorizadas. El 167 DDA todos los pámpanos de todas las vides fueron deshojados hasta dejar 16 hojas principales para evitar descolgamientos sobre la zona de frutos y reproducir una situación común en las condiciones de campo.

Estimación del cuajado, crecimiento, rendimiento y composición de la uva. El día antes del deshojado, se fotografió cada racimo de los pámpanos marcados,

sobre un fondo negro y con una cámara digital colocada en posición perpendicular a la inflorescencia. Se comprobó que se había producido una regresión en el número real de flores y el número de flores que se podían contar en las fotografías basándose en las vides adicionales, y la relación lineal (Fig. 1) que se derivó, se utilizó para estimar el número inicial de flores en las inflorescencias marcadas.

El área foliar suprimida con el deshojado y el total de área foliar final por brote se calculó mediante un medidor de área foliar (LI-3000A, LI-COR Biosciences, Lincoln, NE), separando las formaciones principales de las laterales. Durante la vendimia (31 agosto; DDA 242) los racimos marcados fueron recogidos manualmente, pesados de inmediato, y se contabilizaron las bayas normales y corridas. La compacidad de los racimos se estimó visualmente mediante el código OIV 204 (OIV 1983) que clasifica en el puesto número 1 las "bayas en formación agrupada con muchos pedicelos visibles" y en el 9 a las "bayas deformadas".

De cada racimo del ensayo se tomaron 10 bayas de muestra y se pesaron individualmente. Después se cortaron por la mitad con una cuchilla, con una espátula metálica se retiraron con cuidado las pepitas y la pulpa de cada media baya, sin romper las células hipodérmicas pigmentadas, y después se separaron manualmente las pepitas de la pulpa. La piel y las pepitas se lavaron con agua desionizada, se secaron y pesaron.

La mitad de lo que quedaba de cada racimo se trituró y se determinó la concentración total de sólidos solubles (Brix) con un refractómetro con compensación de temperatura (RX-5000 ATAGO U.S.A., Bellevue, WA). La acidez total (AT) se midió por valoración con 0,1 N NaOH hasta un pH final de 8,2 y se expresó en g/L del equivalente ácido tartárico. El contenido total de antocianos y compuestos fenólicos se calculó sobre la

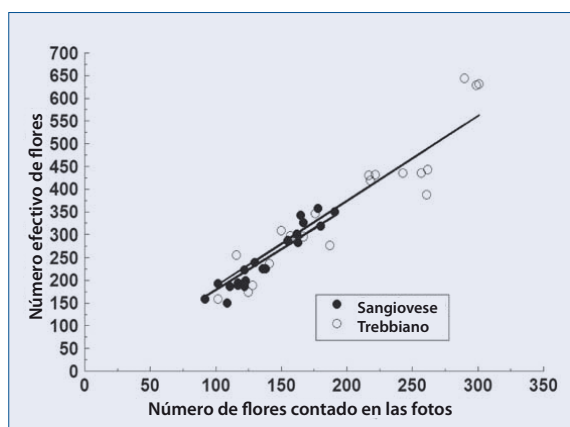
otra mitad de cada racimo según Iland (1988). Las partes del racimo se homogeneizaron a gran velocidad (20.000 rpm) durante un minuto con un homogeneizador Ultra-Turrax (Rose Scientific, Alberta, Canadá). 2 gramos del homogenado se trasladaron a un tubo centrifugador pretarado, al que se añadieron 10 mL de etanol acuoso (50%, pH 5,0). Se tapó el tubo y se agitó de forma periódica a lo largo de una hora antes de centrifugar la mezcla durante 5 minutos a 3500 rpm. Una parte del extracto (0,5mL) se sumó a 10 mL 1 M HCL, se mezcló y se dejó reposar durante 3 horas; entonces se midieron los valores de absorbancia (520 nm y 280nm) con un espectrofotómetro Kontron (Tri-M Systems and Engineering, Toronto, Canadá). El contenido total de antocianos y compuestos fenólicos se expresó en mg por baya sobre g de masa fresca de baya.

Intercambio gaseoso. La asimilación foliar (A) se midió la mañana previa al deshojado (DDA 145), y a continuación los DDA 162, 181, 200, 216 y 242 (es decir, 17, 36, 55, 71 y 97 días después del deshojado) en 3 de los 6 brotes marcados de cada vid, por medio de un sistema de intercambio gaseoso LCi ultracompacto y móvil (ADC, Hoddesdon, Reino Unido). El sistema contaba con una ancha cámara para la hoja, con una ventana de 6,5 cm², y todas las lecturas se hicieron a humedad ambiente relativa y con una corriente de aire ajustada a 400 mL min⁻¹. En cada una de esas fechas, se midieron una de cada 2 hojas principales de forma acropetal, empezando por la primera hoja basal con desarrollo normal (suele ser la hoja del nudo 2). En cada pámpano se eligieron 2 brotes laterales, uno en posición basal (ej. entre los nudos 1 y 8) y otro en posición distal (entre los nudos 9 y 16) del tallo principal, y se midieron de forma acropetal una de cada 2 hojas laterales, empezando con el nudo 1 del brote lateral; debido a un crecimiento insignificante, en el DDA 145 no se midieron hojas laterales. Todas las hojas se midieron por la mañana (desde las 9.00 hasta las 12.00) en condiciones de luz saturada.

La medición de la lámina de cada hoja principal y lateral de los pámpanos marcados se realizó en los DDA 145, 162, 181, 200 y 216. Esto permitió una estimación del área foliar total por brote mediante modelos que establecen una relación entre el área foliar efectiva (y) y la longitud al cuadrado de la lámina (x) de las hojas principales ($y = 0,9189x$; $r^2 = 0,89$) y laterales ($y = 1,0029x$; $r^2 = 0,93$). Las regresiones se construyeron sobre 30 muestras de cada uno de los tipos de hoja tomadas al final de la temporada de las vides adicionales.

Estudio de campo. Este ensayo se llevó a cabo a lo largo de 3 años (2003-2005) en un viñedo de trebbiano (*Vitis vinifera* L.) de 15 años injertado sobre Kober 5BB ubicado en la localidad italiana de Imola (lat: 44°20'N; long: 11°42'E). Las vides se podaron a pitón (~40 nudos por cepa) y con una distancia de 2 m entre plantas

Figura 1
Relación entre el número real de flores y el número de flores identificado en las fotografías de 20 inflorescencias de sangiovese cultivado en maceta, y de trebbiano cultivado en campo (n = 20). Ecuaciones de regresión: $y = 1,7907x$, $r^2 = 0,88$ (sangiovese); $y = 1,8721x$, $r^2 = 0,87$ (trebbiano).



y 3,5 entre hileras. La altura del cordón quedó fijada a 1,2 m del suelo y por encima se colocaron 4 alambres de sujeción que permitían una altura máxima de 3 m de vegetación. La extensión de la pared vegetal no hizo necesarias operaciones de despunte, salvo un tardío despunte cerca del envero en 2005.

Tanto trebbiano como sangiovese tienen una gran capacidad de rendimiento y racimos compactos con bastante tendencia a la podredumbre. Se seleccionaron 4 hileras adyacentes de una parcela uniforme de 12 hileras para conformar un diseño aleatorio completo por bloques en el cada hilera sería un bloque. Por cada fila, se marcaron 4 cepas con un número comparable de nudos y se les asignó al azar uno de estos tratamientos: (A) sin deshojar (control); (B) supresión manual de las primeras 8 hojas basales en estadio H (tratamiento H-100%); (C) supresión manual de las 8 primeras hojas basales en el estadio fenológico del cuajado (estadio J, definido para un diámetro del ovario ~3 a 4 mm) (Baggiolini, 1952) (tratamiento J-100%); y (D) supresión manual de una de cada 2 hojas en la zona del tallo entre el nudo 1 y el 8 en estadio H y de las 4 hojas restantes en etapa J (tratamiento H-J-50%). Todos los brotes de cada cepa fueron tratados siguiendo el patrón del ensayo, y, en la fecha de cada deshojado, todos los brotes laterales entre los nudos 1 y 8 también fueron eliminados. Al mismo tiempo, se seleccionaron al azar 4 brotes por vid y se marcaron para posteriores mediciones pormenorizadas. El número inicial de flores en los racimos del ensayo se calculó por el mismo método descrito antes para sangiovese (figura 1). Las fechas de deshojado fueron el 25 de mayo, 4 de junio y 26 de mayo en el estadio H, y el 10, 14 y 10 de junio en el estadio J para 2003, 2004 y 2005, respectivamente. Las fechas de vendimia fueron el 19, 29 y 9 de septiembre, respectivamente. El clima fue excepcionalmente seco en la temporada de 2003 con sólo 51 mm de lluvia entre junio y agosto, mientras que las precipitaciones para ese mismo período en 2004 y 2005 fueron de 90 y 143 mm, respectivamente, configurando un patrón de aportación hídrica

moderada y abundante (Figura 2).

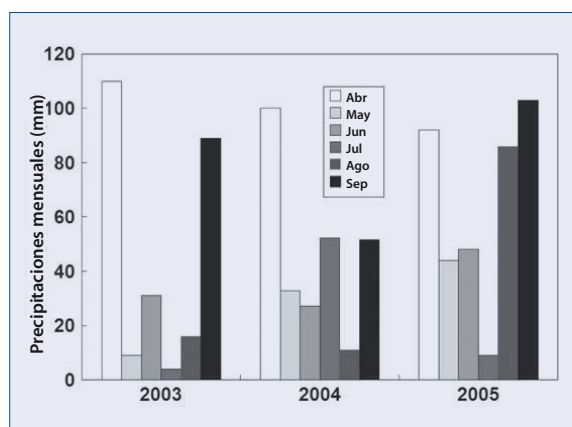
El área foliar suprimida con el deshojado, área foliar final por brote (incluyendo formaciones principales y laterales), rendimiento por brote, compacidad del racimo, sólidos soluble, pH, y AT se registraron siguiendo el mismo método descrito para sangiovese. El tartrato se calculó en el mosto mediante método colorimétrico a partir de las reacciones del nitrato de plata y del vanadato de amonio (Lipka y Tanner, 1974). El malato se determinó con el kit Boehringer (Boehringer, Mannheim, Alemania), que utiliza la L-malato deshidrogenasa para catalizar la reacción entre el malato y NAD⁺ a oxalacetato y NADH. Los productos de la reacción se midieron espectrofotométricamente mediante el cambio en la absorbancia a 340 nm de la reducción de NAD⁺ a NADH.

El peso de todo racimo distal también se registró separadamente y se calculó la severidad de la podredumbre mediante la relación entre bayas con síntomas evidentes y el total de bayas en cada racimo basal. La incidencia de bayas corridas fue despreciable en cada año y tratamiento. En las vendimias de 2004 y 2005 se registró el número total de racimos por vid, y se contó el número de varas primarias a la caída de la hoja para calcular el promedio de fertilidad de la vara y estimar los efectos que el deshojado podría acarrear a la diferenciación de yemas.

Tratamiento estadístico. En el estudio con sangiovese los tratamientos se compararon mediante la prueba T y mediante la variación de medias que determina el error estándar. Se llevó a cabo un análisis combinado del análisis de varianza a lo largo de los años (Gómez y Gómez, 1984) mediante el procedimiento GLM del paquete estadístico SAS (SAS Institute, Cary, NC) con los datos de trebbiano. El año se consideró una variable aleatoria y el término de error de los tratamientos de deshojado fue el promedio al cuadrado de la interacción año x tratamiento. La separación media entre niveles de deshojado se llevó a cabo con el test de Student Newman-Keuls. La interacción año x tratamiento se probó sobre el error conjunto y sólo se consideró si resultó significativa.

Figura 2

Precipitaciones mensuales (de abril a septiembre) registradas cada año (2003 a 2005) en el lugar del ensayo con trebbiano.



II.2.2. Resultados

Estudio con sangiovese. El deshojado provocó una disminución del área foliar principal si ésta se compara con la de los pámpanos de control en todas las fechas que siguieron, y también impulsó el recrecimiento lateral más fuerte que, después del despunte, continuó lentamente durante 40 días para acelerarse de forma notable durante la segunda parte de la temporada, alcanzando con la vendimia un valor más alto que el que se registró en los brotes no defoliados (Figura 3). El deshojado en el estadio H suprimió cerca del 30% del total de área foliar final por brote al final del ensayo, aunque no fue diferente del valor que se

registró en las vides de control porque la formación lateral más fuerte tuvo un efecto compensatorio (Tabla 1).

Tanto el cuajado (porcentaje de número total de bayas sobre número total de flores), como el número de bayas corridas, el peso del racimo y el peso de la baya disminuyeron con el deshojado, que también dio lugar, como efecto reflejo, a unos racimos más sueltos (Tabla 2). Las vides no deshojadas tenían bayas de mayor tamaño, más pulpa, más semillas y un peso más elevado por baya (Tabla 3). Ya que el peso total de hollejo por baya se mantuvo inalterado, el deshojado logró una mayor relación hollejo-pulpa, mientras que la fracción de hollejo sobre el peso total de la baya fue de un 8% en los brotes defoliados, frente al 6,4% en control.

El deshojado mejoró los Brix del mosto y el total de antocianos (tanto la concentración como por baya) (Tabla 4). Resulta interesante comprobar que el deshojado también aumentó la AT y el contenido total de fenoles cuando estos se expresan en términos de concentración. La eficiencia de los brotes se evaluó en función del total de azúcares por brote, por baya

y por unidad de área foliar, y no resultó afectada por ninguno de los tratamientos. Lo mismo sucedió con la relación entre área foliar y rendimiento (por brote), aunque ésta resultó ligeramente más alta en los brotes deshojados (Tabla 1).

La regresión de A/hoja frente a posición de la hoja en el tallo principal (datos recogidos antes del deshojado y reunidos a lo largo de los tratamientos) mostró los niveles más altos en el nudo 4 y luego fue decayendo de forma constante a medida que se llegaba al ápice (Figura 4). Antes del deshojado, las tasas medias de A por hoja, calculadas por la mañana sobre el gradiente de edad foliar de las hojas principales extendidas a lo largo del pámpano, fueron muy parecidas en todos los tratamientos y próximas a los considerados valores óptimos para *V. vinifera* (Figura 5). Las mediciones registradas con el cuajado (17 días después del deshojado) mostraron una cierta compensación fotosintética en las hojas principales de los brotes defoliados, pero este efecto desapareció 36 días después del deshojado cuando las mediciones de asimilación de las hojas principales de los brotes no deshojados fueron más altas que las que se registraron en los deshojados (Figura 5). Aun así, este último tratamiento fue ganando

Figura 3
Variación estacional del área foliar por brote (principales y laterales) en vides de sangiovese en maceta sometidas a un deshojado temprano o no deshojadas (control). Las barras verticales indican el ES.

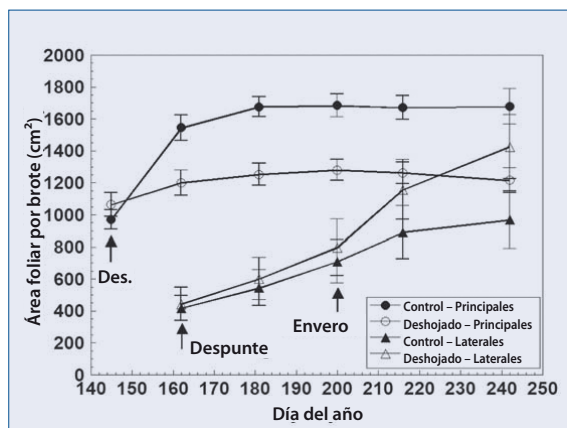


Figura 4
Relación entre la tasa de asimilación/hoja y la posición de las hojas primarias sobre el tallo establecida antes del deshojado para vides de sangiovese cultivadas en maceta (25 de mayo, datos reunidos a lo largo de los tratamientos). Ecuación de regresión curvilínea: $y = 1,57 - 0,209x + 0,0077x^2 - 2,070/x$, $r^2 = 0,93$

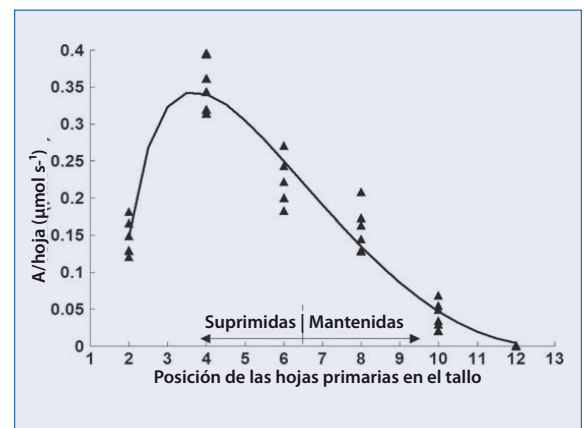


Tabla 1

Fuente de variación	AF suprimida/brote a (cm²)	AF final/brote (cm²)	AF final principal/brote (cm²)	AF final lateral/brote (cm²)	Azúcares totales (g)			AF brotes/rendimiento (cm²/g)
					Por brote	Por baya	Por cm² AF	
Control	0	2504.7	1577.4 a	927.3b	55.9	0.39	0.0263	8.4
Deshojado b	777.5	2632.2	1193.1 b	1439.1 a	49.7	0.40	0.0254	11.4
Significancia c	-	ns	**	*	ns	ns	ns	ns

a AF: Área foliar

b Supresión de las hojas desde el nudo 1 al 6 en los tallos principales en estadio H (botones florales separados)

c Medias separadas en columnas con prueba T. *, **, ns: significativa a un nivel $p \leq 0,05$, $0,01$, o no significativa, respectivamente.

terreno y para el envero había mostrado niveles más altos de fotosíntesis en las 2 últimas mediciones frente al tratamiento de control. Las mediciones de asimilación por temporada en las hojas laterales mostraron variaciones relativas básicamente similares entre tratamientos, la significancia sólo se alcanzó el DDA 181 (valores más altos para control) y con la vendimia (valores más altos para los brotes deshojados).

Cuando la A/brote se calculó mediante una combinación del área foliar y las tasas de asimilación a lo largo de la temporada, los brotes defoliados registraron valores más altos 36 días después del momento del des-

hojado (Figura 6). Aun así, la A/brote en las vides de control mostró un ligero descenso desde el momento del envero, mientras que los brotes deshojados tuvieron más bien una asimilación total constante en las 3 últimas fechas de medición. La diferencia entre tratamientos se agrandó con la vendimia pero sin alcanzar significancia, sobre todo por la variabilidad del crecimiento lateral entre cepas.

Estudio con trebbiano. Aunque el área foliar total suprimida durante el período de tres años en el tratamiento H-100% fue más baja frente a otros niveles de deshojado (Tabla 5), por el efecto compensatorio

Tabla 2

Influencia de un deshojado temprano en las características del cuajado y en los componentes del racimo de vides de sangiovese cultivadas en maceta frente a un control no deshojado

Fuente de variación	Flores/racimo	Cuajado (%)	Bayas normales/racimo	Bayas corridas/racimo	Total de bayas/racimo	Peso racimo (g)	Peso baya (g)	Compacidad racimo (índice) ^a
Control	408	35.2 a	119.2	24.5 a	143.7	305 a	2.59 a	5.9 a
Deshojado ^b	419	29.5 b	112.9	10.9 b	123.8	245 b	2.22 b	4.1 b
Significancia ^c	ns	*	ns	**	*	**	**	**

a Medida de acuerdo con el estándar de OIV 204.

b Supresión de las hojas desde el nudo 1 al 6 en los tallos principales en estadio H (botones florales separados)

*c Medias separadas en columnas con prueba T. *, **, ns: significativa a un nivel $p \leq 0,05$, $0,01$, o no significativa, respectivamente.*

Tabla 3

Influencia de un deshojado temprano en los componentes de las bayas de vides de sangiovese cultivadas en maceta frente a un control no deshojado.

Fuente de variación	Peso baya ^a (g)	Peso pulpa (g/baya)	Peso hollejo (g/baya)	Peso semillas (g/baya)	Relación hollejo/pulpa (%)	Nº semillas/baya
Control	3.00 a	2.68 a	0.195	0.129 a	7.4 b	3.4 a
Deshojado ^b	2.41 b	2.12 b	0.194	0.103 b	9.3 a	2.7 b
Significancia ^c	**	**	ns	**	**	**

a Medición en 10 submuestras de bayas por racimo

b Supresión de las hojas desde el nudo 1 al 6 en los tallos principales en estadio H (botones florales separados)

*c Medias separadas en columnas con prueba T. *, **, ns: significativa a un nivel $p \leq 0,05$, $0,01$, o no significativa, respectivamente.*

Tabla 4

Influencia de un deshojado temprano en las variables de composición estándar del mosto, contenido total de compuestos fenólicos y antocianos en vides de sangiovese cultivadas en maceta frente a un control no deshojado.

Fuente de variación	Sólidos solubles (Brix)	pH	AT (g/L)	Antocianos totales		Fenólicos totales	
				mg/baya	mg/g	mg/baya	mg/g
Control	18.3 b	3.39	5.7 b	0.637b	0.787 b	1.744 a	2.154 b
Deshojado ^a	20.1 a	3.41	6.1 a	0.729 a	1.133 a	1.541 b	2.385 a
Significancia ^b	**	ns	*	**	**	**	**

a Supresión de las hojas desde el nudo 1 al 6 en los tallos principales en estadio H (botones florales separados)

*b Medias separadas en columnas con prueba T. *, **, ns: significativa a un nivel $p \leq 0,05$, $0,01$, o no significativa, respectivamente.*

del recrecimiento lateral, el mismo tratamiento reflejó al final de la temporada un área foliar total residual similar al resto de tratamientos de deshojado. El total de área foliar final por brote en H-100%, J-100% y H-J-50% fue 71, 65 y 70% para control, mientras que, en ese mismo orden, la fracción de área foliar total que aportaron los laterales fue 41, 23 y 27%. En líneas generales, el deshojado temprano potenció un mayor recrecimiento lateral.

Se identificó una significativa interacción de año por tratamiento en el número total de flores por racimo y en el porcentaje de cuajado (Tabla 6). Una partición de estas interacciones demostró que, aunque el porcentaje de cuajado se redujo cada año con todos los tratamientos de deshojado frente a control, la reducción fue menor en 2004 (Figura 7A). Y a la inversa, en 2003 el número de flores por racimo no mostró diferencias entre tratamientos, pero en 2004 y 2005 fue menor en la mayoría de tratamientos de deshojado frente a los conteos realizados en los brotes de control (Figura 7B). A lo largo de 3 años, tanto el rendimiento por brote, como el peso de racimo y de baya, el número de bayas por racimo, la compacidad del racimo y la susceptibilidad a la podredumbre se redujeron con el deshojado frente al control (Tabla 6). El componente del rendimiento que más importancia tuvo a la hora de reducir el potencial de cosecha fue el número de bayas; el peso de baya resultó más afectado por el tratamiento J-100% que con los otros tratamientos de deshojado. La relación de área foliar final/rendimiento, calculada por brote, aumentó con todos los tratamientos de deshojado, alcanzando significancia con H-100% y H-J-50% (Tabla 5). Los azúcares totales por brote fueron mucho más altos en los no deshojados, aunque esta tendencia cambiaba cuando los niveles de azúcar se ofrecían por unidad de baya mostrando o un descenso (J-100%) o incluso un aumento (H-100%) frente a los bloques de control. No se observó que los tratamientos de deshojado tuvieran consecuencias

significativas sobre la fertilidad de las yemas de la siguiente temporada (Tabla 6).

Las variables de composición del mosto resultaron profundamente afectadas por el deshojado. Todos los tratamientos llevaron a incrementos de Brix en el mosto (Tabla 7) y a una tendencia general hacia un pH más bajo, un tartrato más alto, y menores concentraciones de malato. Se observó una interacción de año x tratamiento significativa en los sólidos solubles (Figura 8) reflejada en una diferencia de año en año en la magnitud del aumento de sólidos solubles por deshojado; aun así, los valores absolutos fueron invariablemente más altos en los tratamientos de defoliación.

II.2.3. Discusión

En los 2 estudios se registró una disminución del cuajado que confirma que incluso en los brotes no anillados, el suministro de recursos en floración es el principal determinante del cuajado, como quedó demostrado en algunos proyectos pioneros (Coombe, 1962) y en aportaciones más recientes (Caspari y Lang, 1996; Poni et al., 2005).

La disminución de cuajado en sangiovese (5,7% menos que en control) fue menor que la que se observó el primer año con trebbiano (Figura 7A), cuando la media de todos los tratamientos de deshojado fue un 19% menor que en control. Dejando a un lado las diferencias relacionadas con el genotipo o las condiciones de cultivo (maceta frente a campo), la razón principal de esta diferencia reside en la severidad del deshojado (6 hojas basales eliminadas en sangiovese frente a las 8 de trebbiano), lo que evidencia que la relación entre el número de hojas maduras suprimidas y el porcentaje de cuajado podría no ser lineal. En un pormenorizado estudio sobre deshojado llevado a cabo con brotes de sauvignon blanc anillados, los

Figura 5
Variación estacional de la asimilación por hoja (hojas principales y laterales) en vides de sangiovese cultivadas en maceta sometidas a un deshojado temprano o no deshojadas (control). Las barras verticales indican el ES.

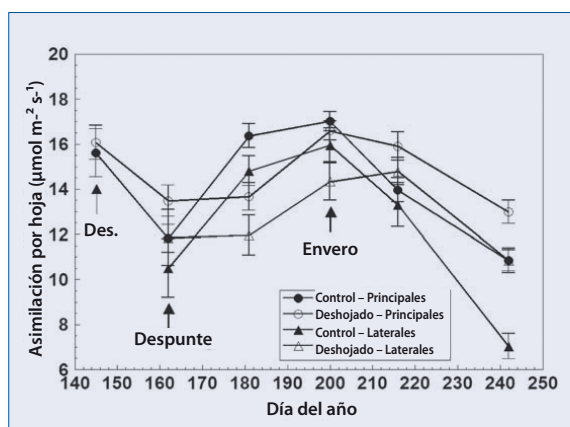


Figura 6
Variación estacional de la asimilación/brote en vides de sangiovese cultivadas en maceta sometidas a un deshojado temprano o no deshojadas (control). Las barras verticales indican el ES.

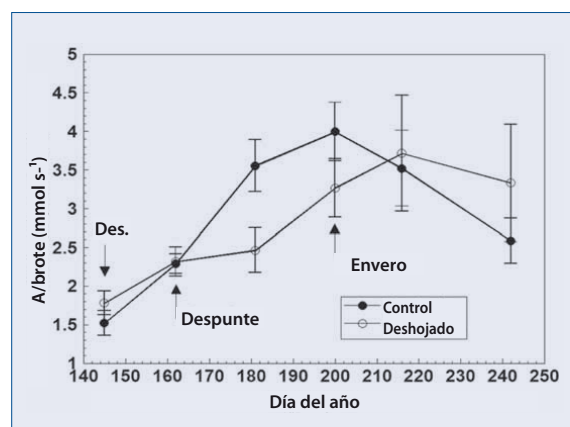


Figura 7

Variación a lo largo de los años de los porcentajes de cuajado (A) y del número de flores por racimo (B) para los diferentes tratamientos de deshojado aplicados en vides de trebbiano cultivadas en campo. H: estadio de botones florales separados; J: estadio de cuajado. La barra vertical indica el ES interactivo.

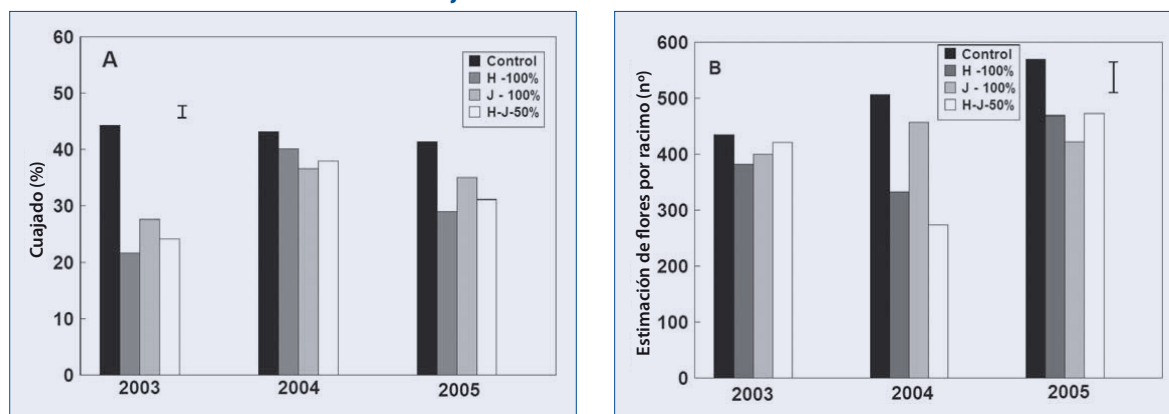


Tabla 5

Influencia de tratamientos de deshojado temprano en el crecimiento vegetativo (AF: Área foliar) y el equilibrio fuente-sumidero en vides trebbiano cultivadas en campo frente a un control no deshojado. Datos medios entre 2003 y 2005.

Fuente de variación ^a	AF suprimida/brote (cm ²)	AF final/brote (cm ²)	AF principal final/brote (cm ²)	AF lateral final/brote (cm ²)	Azúcares totales (g)			AF/rendimiento (cm ² /g)
					Por brote	Por baya	Por cm ² AF	
Control	-	3079 a	2287 a	792 a	95.7 a	0.375 b	0.034	6.2 b
H-100%	1357 b	2190 b	1554 b	635 ab	53.8 b	0.402 a	0.027	8.9 a
J-100%	1720 a	2011 b	1551 b	461 b	53.5 b	0.353 c	0.031	7.6 ab
H-J-50%	1738 a	2155 b	1569 b	586 ab	48.6 b	0.376 b	0.028	9.4 a
Significancia ^b	*	**	**	**	**	**	ns	**
Interacción deshojado x año	ns	ns	ns	ns	ns	*	ns	ns

a H: estadio de botones florales separados; J: estadio de cuajado; 100%: supresión de las hojas entre el nudo 1 y el 8 en los tallos principales; 50%: supresión de una de cada dos hojas entre el nudo 1 y el 8 en los tallos principales.

b Medias separadas en columnas con prueba Student Newman-Keuls. *, **, ns: significativa a un nivel $p \leq 0,05, 0,01, 0$, no significativa, respectivamente.

Tabla 6

Influencia de tratamientos de deshojado temprano sobre el cuajado, los componentes del rendimiento y la fertilidad de las yemas de la temporada siguiente en vides de trebbiano cultivadas en campo frente a un control no deshojado. Datos medios entre 2003 y 2005, salvo donde se indique lo contrario.

Fuente de variación ^a	Flores/racimo	Cuajado (%)	Rendimiento/brote (g)	Peso racimo (g)	Bayas/racimo	Peso baya (g)	Compacidad racimo (índice)	Incidencia de pudrición (%)	Fertilidad yemas ^b (racimos/brote)
Control	492 a	42.7 a	498 a	400 a	210 a	1.97 a	6.56 a	5.8 a	1.02
H-100%	404 b	27.5 b	247 b	210 b	111 b	1.86 b	4.04 b	1.4 b	0.82
J-100%	424 b	30.7 b	263 b	223 b	130 b	1.74 c	4.35 b	0.61 b	0.93
H-J-50%	390 b	29.2 b	228 b	199 b	114 b	1.78 bc	4.08 b	1.26 b	0.82
Significancia ^c	**	**	**	**	**	**	**	**	ns
Interacción deshojado x año	**	**	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns

a H: estadio de botones florales separados; J: estadio de cuajado; 100%: supresión de las hojas entre el nudo 1 y el 8 en los tallos principales; 50%: supresión de una de cada dos hojas entre el nudo 1 y el 8 en los tallos principales.

b Datos medios entre 2004 y 2005

c Medias separadas en columnas con prueba Student Newman-Keuls. *, **, ns: significativa a un nivel $p \leq 0,05, 0,01, 0$, no significativa, respectivamente.

autores documentaron una reducción del cuajado del 17 al 5% cuando el número de hojas maduras suprimidas con la floración pasaba de 6 a 8 (Caspari y Lang, 1996). En un estudio diferente sobre bayas de garnacha, el número de frutos con pepita casi se triplicó cuando el número de hojas maduras que se dejó por brote antes de la floración pasó de 2 a 4 (Coombe, 1962). Resulta interesante comprobar que, aunque el deshojado en sangiovese eliminó cerca del 73% de la fotosíntesis total de los brotes (Figura 4), la respuesta en términos de disminución del cuajado, en conjunto, fue moderada, lo que confirma el característico alto rendimiento de esta variedad. Por otro lado, conviene observar que el cuajado en trebbiano disminuyó cada año con cualquiera de los tratamientos de deshojado, pese a algunas variaciones en el número inicial de flores por racimo.

En líneas generales, el deshojado temprano afectó negativamente tanto al número de bayas por racimo como al tamaño de baya y, en consecuencia, contribuyó a reducir el rendimiento por brote. Coincidiendo con los resultados de otros estudios (May et al., 1969; Kliewer, 1970; Ollat y Gaudillère, 1998), el ensayo con trebbiano indica que un deshojado posterior a la floración resulta más efectivo que uno temprano cuando se busca también un cierto control sobre el tamaño de la baya, aunque –como también notaron otros (Petrie et al., 2003)-, incluso los deshojados después de floración resultan bastante efectivos a la hora de abortar o frenar el corrimiento de las bayas. En el estudio con sangiovese, el deshojado antes de la floración redujo drásticamente el número de bayas corridas, lo que es inherente a una mayor calidad, ya que podría mejorar la uniformidad de maduración del racimo. Aun así, la base fisiológica de este comportamiento no está muy clara. Según May (2004) las bayas corridas pasan por una fertilización normal, pero a raíz de un aborto temprano del óvulo las pepitas desaparecen o sólo quedan trazas de ellas. También se sabe que existe una

jerarquía entre las flores de la inflorescencia de la uva, y que el tipo de agrupación principal de flores en las ramas secundarias o terciarias es el dicasio (o tríada), con una flor central y dos secundarias a los lados (May 2004). Así, partiendo de este documentado potencial diferente de flores y óvulos fertilizados dentro de una misma inflorescencia, se podría deducir que la limitación de recursos que provoca el deshojado temprano favorece el mecanismo por el que la planta se libra de las flores más débiles (las que tienen más posibilidades de convertirse en bayas corridas) a la vez que maximiza la conservación de las bayas normales.

La limitación del cuajado que se registró en los 2 estudios llevó a una reducción del rendimiento por brote, del 20% en sangiovese y del 48% en trebbiano frente a control. En el estudio de campo, la magnitud y la constancia en la reducción de la carga de cosecha sugiere claramente que un deshojado temprano puede ser un instrumento excelente para limitar el rendimiento en lugar del trabajoso aclareo de racimos y evitando los efectos negativos que conlleva (por ejemplo, crecimiento compensatorio de los racimos restantes que podrían volverse más compactos y presentar bayas más grandes con una relación menor de hollejo-pulpa).

La segunda característica recurrente que muestran ambos estudios fue un incremento de los componentes finales de la uva, en el caso de sangiovese se manifestó con un incremento simultáneo de Brix, antocianos totales y fenoles (concentración) lo que concuerda con las conclusiones de un estudio anterior con cv Barbera (Poni et al., 2005). Es más, la significativa interacción de año x tratamiento descubierta en el estudio con trebbiano sólo podía atribuirse a la variación del incremento estacional del total de azúcares en el tratamiento de deshojado frente a control, lo que indicaría que los efectos del tratamiento tienen mayor peso que los efectos medioambientales, que se

Tabla 7
Influencia de los tratamientos tempranos de deshojado sobre los parámetros de las variables de composición del mosto en vides trebbiano cultivadas en campo frente a un control no deshojado. Datos medios entre 2003 y 2005.

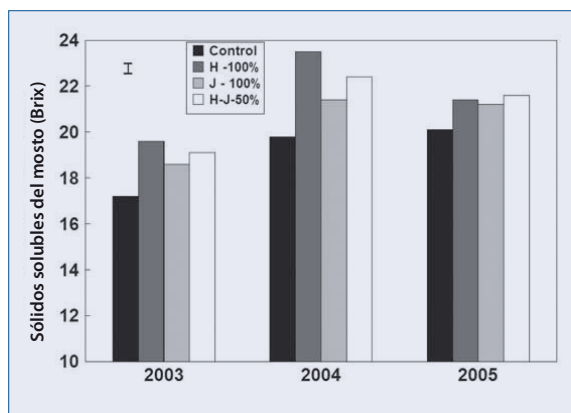
Fuente de variación ^a	Sólidos solubles (Brix)	pH	AT (g/L)	Tartrato (g/L)	Malato (g/l)
Control	19.0 c	3.30 a	5.8 ab	6.1 b	1.52 a
H-100%	21.4 a	3.30 a	5.6 b	6.3 b	1.45 a
J-100%	20.3 b	3.16 c	6.2 a	6.7 a	1.27 b
H-J-50%	21.0 a	3.20 b	6.2 a	7.1 a	1.23 b
Significancia b	**	**	**	**	**
Interacción deshojado x año	*	ns	ns	ns	ns

a H: estadio de botones florales separados; J: estadio de cuajado; 100%: supresión de las hojas entre el nudo 1 y el 8 en los tallos principales; 50%: supresión de una de cada dos hojas entre el nudo 1 y el 8 en los tallos principales.

*b Medias separadas en columnas con prueba Student Newman-Keuls. *, **, ns: significativa a un nivel $p \leq 0,05, 0,01, 0$ o no significativa, respectivamente.*

Figura 8

Los sólidos solubles del mosto (Brix) a lo largo del período 2003-2005 por cada tratamiento de deshojado aplicado sobre vides de trebbiano cultivadas en campo. H: estadio de botones florales separados; J: estadio de cuajado. Las barra vertical indica el ES interactivo.



registraron separadamente (Figura 2). La eliminación de hojas fuente y el incremento de Brix en las uvas no parece tener un fundamento fisiológico, ya que estudios anteriores han demostrado que la composición de la uva puede incluso empeorar si el deshojado se lleva a cabo entre el cuajado y el envero (Bledsoe et al, 1988). Aun así, nuestros resultados prueban que hay al menos 4 factores que podrían justificar esa mejora en la composición de la uva.

En primer lugar, las estrategias de deshojado que adoptamos, por lo general, determinaron unas relaciones finales hoja/rendimiento (por brote) que nunca descendieron del control y que en algunos casos quedaron muy por encima (Tablas 1 y 5). Esto implica que la reducción del rendimiento que provocaron los tratamientos de deshojado al actuar sobre el cuajado y el tamaño de las bayas fue proporcionalmente igual o mayor que la restricción que supuso el tratamiento, lo que explicaría en parte el incremento de azúcares y la concentración de pigmentos. La tendencia a compensar la pérdida de área foliar suprimida potenciando el crecimiento de los brotes laterales es otro de los mecanismos que contribuye a no limitar la relación final hoja/fruto en los bloques deshojados. En nuestro ensayo con trebbiano, esta tendencia se acentuó con tratamientos más tempranos.

En segundo lugar, una mejor composición de la uva en los brotes deshojados también está relacionada con la "calidad" de la fuente. La supresión de las hojas fuente con la floración provoca cambios dinámicos en la fotosíntesis de los brotes y en su edad además de en el equilibrio fuente-sumidero. La A/brote calculada en varias fechas integraba muchos de estos efectos, y las tendencias sugieren claramente que la fotosíntesis total en los brotes deshojados coincidía con el nivel del control después del envero (Figura 6). Los valores medios de A/brote en los 2 tratamientos con sangiovese obtenidos a lo largo de las 6 fechas de medición

fueron muy parecidos ($2,91 \mu\text{mol s}^{-1}$ para el control frente a $2,81 \mu\text{mol s}^{-1}$ para el deshojado), y, si se compara con el rendimiento por brote (20% menor con el tratamiento de deshojado), hubo mayor disponibilidad de carbohidratos para la maduración.

Una partición de la variable de A/brote entre los componentes del desarrollo del área foliar y las tasas de asimilación por hoja demostraron que la supresión foliar potenció una formación lateral más sostenida a lo largo de la temporada y que se dio una cierta compensación fotosintética tanto en las hojas principales como en las laterales (+14% y +12% para tasas de A frente al control, 17 días después del deshojado). La capacidad de compensación fotosintética que el deshojado desencadena en las hojas que quedan sobre la vid ha sido muy bien documentada (Candolfi-Vasconcelos y Koblet, 1991; Hofäcker, 1978; Petrie et al., 2003; Poni y Giachino, 2000). Aun así, nuestras tasas de A medidas sobre hojas principales y laterales unas 5 semanas después del deshojado eran significativamente inferiores en los brotes defoliados, un resultado que básicamente implica que la naturaleza de la compensación de asimilación por hoja es temporal. Este resultado se evidenció con un estudio en el que, una semana después de la plena floración, se llevaron a cabo 3 deshojados diferentes (manteniendo 3, 6 y 12 hojas principales). Los tratamientos que mantenían menos hojas dieron lugar a niveles más altos de A que duraron hasta 5 semanas después de la supresión, y a partir de ahí los niveles se precipitaban por debajo de los registrados en el tratamiento de 12 hojas (Candolfi-Vasconcelos y Koblet, 1991). En nuestro estudio, en cambio, el comportamiento de las tasas de A registrado 36 días después del deshojado podría ser también una reacción al despunte de los brotes a 16 nudos, llevado a cabo 17 días después del deshojado, por lo que las mediciones obtenidas en el DDA 181 representaban sólo a las hojas principales completamente extendidas. Estas hojas debido a los esfuerzos de compensación anteriores, podrían estar aquejadas de una excesiva acumulación de asimilados, lo que conllevaría tasas diarias de A por debajo de los niveles óptimos (Flore y Lakso, 1988).

La recuperación de las tasas de asimilación que se produjo en las fechas que siguieron al tratamiento de deshojado podrían reflejar una limitación de sumidero menos pronunciada y sobre todo, cambios en la edad del brote. Los niveles más altos de A en las 2 últimas fechas de medición estarían relacionados con los efectos de la edad de la hoja en la fotosíntesis (Poni et al., 1994), lo que sugiere que las hojas basales (que han sido eliminadas en las brotes deshojados) podrían sufrir una considerable pérdida de su capacidad de asimilación después del envero; por otro lado, las tasas de A, igualmente altas, registradas en los brotes laterales que surgieron de brotes deshojados, se deben a su mayor vigor y, por tanto, a su madurez (Poni y Giachino, 2000). En líneas generales, parece que el

hecho de que las vides deshojadas tengan una vegetación "más joven" en el momento del envero (las hojas de los brotes apicales y mediales para entonces ya están maduras y puede haber más hojas laterales como reacción compensatoria a la temprana supresión de hojas principales) podría provocar niveles más altos de fotosíntesis a finales de temporada, lo que ayudaría a entender la mejor composición de la uva.

Un tercer factor que podría favorecer la composición de la uva en los brotes deshojados está relacionado con los cambios en el equilibrio fuente-sumidero. Hay pruebas de que un deshojado temprano aplicado sobre la zona de los frutos acelera la derivación de asimilados hacia el racimo. Quinlan y Weaver (1970) suministraron en el momento del cuajado 14CO_2 a una hoja superior completamente extendida y al mismo tiempo deshojaron o ensombrecieron la zona del brote justo por debajo de la hoja. Auto-radiografías tomadas 24 horas después demostraron que el oscurecimiento o el deshojado provocaron una inversión (basípeta) del movimiento fotosintético. Otro estudio apuntó que, a lo largo de las 3 semanas posteriores al envero, el 12% de las reservas de 14C fueron derivadas a los frutos en las plantas deshojadas, frente al 1,6% que se detectó en los racimos de las vides de control no tratadas, mientras que la respectiva fracción de 14C removilizada del tronco y las raíces fue de 32 y 0,7% (Candolfi-Vasconcelos et al., 1994).

Para terminar, la composición mejorada de la uva que se ha logrado con tratamientos de deshojado se debió también a un cambio en el tamaño de la baya y, por tanto, en la relación hollejo-pulpa. Se ha planteado que la proporción de una baya que representan los tejidos de la piel y las semillas puede variar tanto en masa como en volumen (Roby y Matthews, 2004). Es decir, bayas con una misma masa pueden variar substancialmente en términos de piel relativa y masa seminal en función de la fuente relacionada con la limitación del crecimiento de la baya (carga de cosecha, estrés hídrico). En el presente estudio, los datos sobre sangiovese revelaron que la restricción en el crecimiento de la baya provocada por el deshojado no afectó a los valores absolutos de tejido de piel por baya y, en consecuencia, determinó mayores relaciones relativas de hollejo-pulpa y hollejo-peso total de baya. Aunque sea temprano, el efecto del deshojado en la formación del exocarpio no parece que sea significativo, y la relación final hollejo-pulpa que determinó el tratamiento pareció más bien reflejo de un menor número de pepitas por baya, lo que a su vez está relacionado con un menor crecimiento del mesocarpio (May, 2004).

En nuestro estudio, los cambios específicos en la composición de la uva provocados por el deshojado también incluyeron una AT y Brix más elevados en sangiovese (Tabla 4) y una marcada tendencia hacia un ácido tartárico más alto y un ácido málico más bajo en trebbiano, aunque la AT se mantuvo inalterada (Tabla 7). Aunque el efecto de un ácido málico más bajo puede derivarse de una mayor exposición de los racimos (Kliewer y Smart, 1989), y de ahí la temperatura de la baya, el incremento del ácido tartárico podría estar relacionado con lo reflejado por Kliewer y Schultz (1964), que documentaron unos niveles más altos de 14CO_2 incorporados al ácido tartárico en bayas expuestas a pleno sol, frente a los valores que se obtuvieron de bayas sombreadas.

Para terminar, un esperado, pero igualmente crucial, efecto obtenido con el deshojado es una disminución de la compacidad del racimo, lo que a su vez tiene un efecto positivo en la susceptibilidad a la podredumbre del trebbiano. Este rasgo puede tener una importancia vital para cultivares cultivados en climas húmedos.

II.2.4. Conclusiones.

Se ha estudiado el deshojado temprano de la vid desde un planteamiento fisiológico básico relacionado con los mecanismos compensatorios de la asimilación, variación fuente-sumidero, y los efectos que podría suponer en las cosechas venideras. Desde un punto de vista práctico, tradicionalmente se ha hecho hincapié en evitar el deshojado cercano a la floración por sus efectos negativos sobre el rendimiento. Nosotros investigamos la posibilidad de que un deshojado temprano de viñedos de alto rendimiento, con racimos grandes y compactos, puede limitar el rendimiento mediante una disminución del cuajado y del tamaño de la baya y, al mismo tiempo, podría determinar una mejor composición de la uva. Esta hipótesis demostró ser cierta en 2 viñedos diferentes (sangiovese cultivado en maceta y trebbiano). Los mecanismos que determinaron una mayor calidad en los brotes deshojados se apoyaban en una mayor relación hoja-fruto (por brote), una asimilación estacional por brote que no difería de la de control, fracciones más altas de hollejo-pulpa, y racimos menos compactos y menos susceptibles a la podredumbre. En nuestras condiciones, un deshojado temprano puede sustituir completamente el trabajoso aclareo de racimos como instrumento para controlar el rendimiento. Ahora mismo se está estudiando la viabilidad de realizar un deshojado temprano mecanizado integrado en el diseño en espaldera.

II.2.5. Referencias bibliográficas

- Baggiolini, M. 1952.** Les stades repérés dans le développement annuel de la vigne et leur utilisation pratique. *Rev. Romande Agric. Vitic. Arboric.* 8:4-6.
- Bergqvist, J., N. Dokoozlian, and N. Ebisuda. 2001.** Sunlight exposure and temperature effects on berry growth and composition of Cabernet Sauvignon and Grenache in the Central San Joaquin Valley of California. *Am. J. Enol. Vitic.* 52:1-6.
- Bledsoe, A.M., W.M. Kliewer, and J.J. Marois. 1988.** Effects of timing and severity of leaf removal on yield and fruit composition of Sauvignon blanc grapevines. *Am. J. Enol. Vitic.* 1:49-54.
- Candolfi-Vasconcelos, M.C., and W. Koblet. 1991.** Influence of partial defoliation on gas exchange parameters and chlorophyll content of field-grown grapevines—Mechanisms and limitation of the compensation capacity. *Vitis* 30:129-141.
- Candolfi-Vasconcelos, M.C., M.P. Candolfi, and K. Werner. 1994.** Retranslocation of carbon reserves from the woody storage tissue into the fruit as a response to defoliation stress during the ripening period in *Vitis vinifera*. *Planta* 192:567-573.
- Caspari, H.W., and A. Lang. 1996.** Carbohydrate supply limits fruitset in commercial Sauvignon blanc grapevines. In *Proceedings for the Fourth International Symposium on Cool Climate Enology and Viticulture*. T. Henick-Kling et al. (Eds.), pp. II 9-13. New York State Agriculture Experiment Station, Geneva, New York.
- Coombe, B.G. 1959.** Fruit-set development in seeded grape varieties as affected by defoliation, topping, girdling, and other treatments. *Am. J. Enol. Vitic.* 10:85-100.
- Coombe, B.G. 1962.** The effect of removing leaves, flowers and shoot tips on fruit-set in *Vitis vinifera* L. *J. Hortic. Sci.* 37:1-15.
- Flore, J.A., and A.N. Lakso. 1988.** Environmental and physiological regulation of photosynthesis in fruit crops. *Hortic. Rev.* 11:111-157.
- Gomez, K.A., and A.A. Gomez. 1984.** Statistical Procedures for Agricultural Research. Wiley & Sons, Singapore.
- Hofäcker, W. 1978.** Untersuchungen zur photosynthese der rebe. Einfluß der entblätterung, der dekapitierung, der ringelung und der entfernung der traube. *Vitis* 17:10-22.
- Hunter, J.J., and J.H. Visser. 1990.** The effect of partial defoliation on growth characteristics of *Vitis vinifera* L. cv. Cabernet Sauvignon II. Reproductive growth. *S. Afr. J. Enol. Vitic.* 11:26-32.
- Iland, P.G. 1988.** Leaf removal effects of fruit composition. In *Proceedings of the Second International Cool Climate Viticulture and Oenology Symposium*. R.E. Smart et al. (Eds.), pp. 137-138. Auckland, New Zealand.
- Kliewer, W.M. 1970.** Effect of time and severity of defoliation on growth and composition of Thompson Seedless grapes. *Am. J. Enol. Vitic.* 21:37-47.
- Kliewer, W.M., and A.J. Antcliff. 1970.** Influence of defoliation, leaf darkening and cluster shading on the growth and composition of Sultana grapes. *Am. J. Enol. Vitic.* 21:26-36.
- Kliewer, W.M., and H.B. Schultz . 1964.** Influence of environment on metabolism of organic acids and carbohydrates in *Vitis vinifera*. II. Light. *Am. J. Enol. Vitic.* 15:119-129.
- Kliewer, W.M., and R.E. Smart. 1989.** Canopy manipulation for optimizing vine microclimate, crop yield and composition of grapes. In *Manipulation of Fruiting*. C.J. Wright (Ed.), pp. 275-291. Butterworth, London.
- Koblet, W. 1996.** How do grapevines respond to altered source/ sink ratios and unfavourable environmental conditions? In *Proceedings for the Fourth International Symposium on Cool Climate Enology and Viticulture*. T. Henick-Kling et al. (Eds.), pp. II 1-8. New York State Agriculture Experiment Station, Geneva, New York.
- Lipka, Z., and H. Tanner. 1974.** Une nouvelle méthode de dosage rapide de l'acide tartrique dans les moûts, les vins et autres boissons (selon Rebelein). *Rev. Suisse Vitic. Arboric. Hortic.* 6:5-10. May, P. 2004. Development after fertilisation. In *Flowering and Fruitset in Grapevines*. P. May (Ed.), pp. 63-72. Lythrum Press, Adelaide.
- May, P., N.J. Shaulis, and A.J. Antcliff. 1969.** The effect of controlled defoliation in the Sultana vines. *Am. J. Enol. Vitic.* 20:237-250.
- O.I.V. 1983.** Codes des caractères descriptifs des variétés et espèces de vitis. *Dedon, Paris*.
- Ollat, N., and J.P. Gaudillere. 1998.** The effect of limiting leaf area during stage I of berry growth on development and composition of berries of *Vitis vinifera* L. cv. Cabernet Sauvignon. *Am. J. Enol. Vitic.* 49:251-258.
- Percival, D.C., K.H. Fisher, and J.A. Sullivan. 1994.** Use of fruit zone leaf removal with *Vitis vinifera* L. cv. Riesling grapevines. II. Effect on fruit composition, yield, and occurrence of bunch rot (*Botrytis cinerea* Pers.: Fr.). *Am. J. Enol. Vitic.* 45:133-139.

Petrie, P.R., M.C.T. Trought, G.S. Howell, and G.D. Buchan. 2003. The effect of leaf removal and canopy height on whole-vine gas exchange and fruit development of *Vitis vinifera* L. *Sauvignon blanc*. *Func. Plant Biol.* 30:711-717.

Poni, S., and E. Giachino. 2000. Growth, photosynthesis and cropping of potted grapevines (*Vitis vinifera* L. cv. *Cabernet Sauvignon*) in relation to shoot trimming. *Aust. J. Grape Wine Res.* 3:216-226.

Poni, S., F. Bernizzoni, G. Briola, and A. Cenni. 2005. Effects of early leaf removal on cluster morphology, shoot efficiency and grape quality in two *Vitis vinifera* cultivars. *Acta Hort.* 689:217-225.

Poni, S., C. Intrieri, and O. Silvestroni. 1994. Interactions of leaf age, fruiting and exogenous cytokinins in Sangiovese grapevines under non-irrigated conditions. I. Gas exchange. *Am. J. Enol. Vitic.* 45:71-78.

Price, S.F., P.J. Breen, M. Valladao, and B.T. Watson. 1995. Cluster sun exposure and quercetin in grapes and wine. *Am. J. Enol. Vitic.* 46:187-194.

Prior, B. 2003. Qualität durch Laubarbeiten und Traubenreduktion – Was bietet sich an? *Deutsche Weinmagazin* 10:22-27.

Quinlan, J.D., and J.R. Weaver. 1970. Modification of pattern of photosynthate movement within and between shoots of *Vitis vinifera* L. *Plant Physiol.* 46:527-530.

Regione Emilia-Romagna. 2006. Disciplinary di produzione integrata 2006: Vite ad uva da vino. *Regione Emilia-Romagna, Bologna, Italy.*

Reynolds, A.G., D.A. Wardle, and A.P. Naylor. 1996. Impact of training system, vine spacing, and basal leaf removal on Riesling. *Vine performance, berry composition, canopy microclimate, and vineyard labor requirements.* *Am. J. Enol. Vitic.* 47:63-76.

Roby, G., and M. Matthews. 2004. Relative proportions of seed, skin and flesh, in ripe berries from Cabernet Sauvignon grapevines grown in a vineyard either well irrigated or under water deficit. *Aust. J. Grape Wine Res.* 10:74-82.

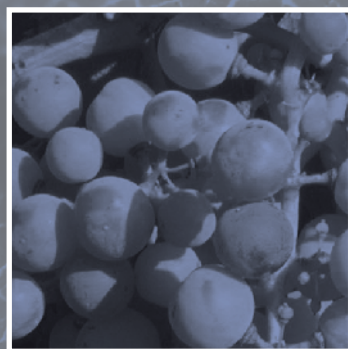
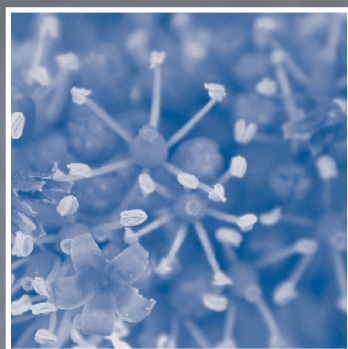
Smart, R.E. 1985. Principles of grapevine canopy microclimate with implications for yield and quality: A review. *Am. J. Enol. Vitic.* 36:230-239.

Smith, S.I., C. Codrington, M. Robertson, and R.E. Smart. 1988. Viticultural and oenological implications of leaf removal for New Zealand vineyards. In *Proceedings of the Second International Symposium for Cool Climate Viticulture and Oenology.* R.E. Smart et al. (Eds.), pp. 127-133. Auckland, New Zealand.

Zoecklein, P.W., T.K. Wolf, N.W. Duncan, J.M. Judge, and M.K. Cooke. 1992. Effects of fruit zone leaf removal on yield, fruit composition and fruit rot incidence of Chardonnay and White Riesling (*Vitis vinifera* L.) grapes. *Am. J. Enol. Vitic.* 43:139-148.



II.3. Valoración de la eficiencia de la masa vegetal de la vid



67	II.3.1. Radiación disponible
68	II.3.2. Radiación captada
70	II.3.3. Conversión de la radiación en materia seca
71	II.3.4. Migración y acumulación de la materia seca a los racimos
72	II.3.5. Criterios de valoración de la eficiencia de la canopia de vid
75	II.3.6. Conclusiones
77	II.3.7. Referencias bibliográficas



Stefano PONI
 Istituto di Frutti-Viticultura,
 Università Cattolica del Sacro Cuore
 Piacenza, Italia.

Original publicado en *Informatore agrario (suplemento)* 30 Mar-5 Abr 2001, vol 57 (suppl.14)

La eficiencia de la masa vegetal de la vid depende de su capacidad para captar la luz solar pero también de las formas en que la luz capturada se convierte en materia seca y, en última instancia, de la cantidad de materia seca que la masa vegetal (canopia) es capaz de derivar a los racimos. Nos disponemos a examinar los factores más influyentes y las metodologías de valoración más recientes.

Stefano Poni

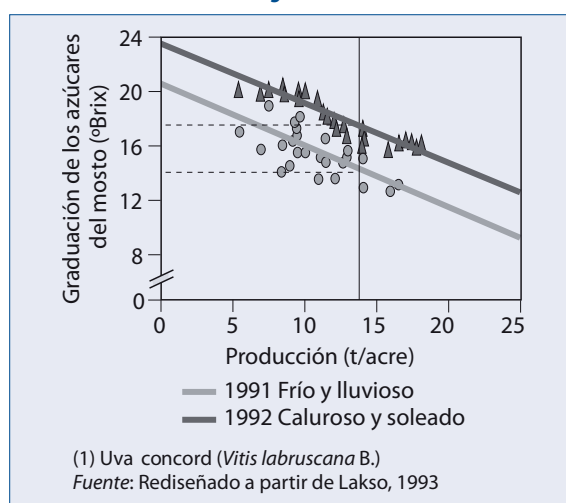
Las canopias de vid presentan una gran variabilidad en términos de dimensiones, forma, orientación y distribución de la vegetación. Esto se debe tanto a la heterogeneidad de los sistemas de conducción utilizados con esta especie arbórea (se han clasificado aproximadamente 40 formas!) como a la "plasticidad" del género *Vitis* (Fregoni, 1998). De hecho, se sabe que la vid presenta una estructura de liana, con brazos (sarmientos) largos y flexibles, y órganos específicos de agarre (zarcillos) que la hacen particularmente adecuada para ser modelada con diferentes formas geométricas.

Independientemente del tipo de sistema de conducción, una parte aérea eficiente se caracteriza sobre todo por su capacidad para satisfacer 3 requisitos imprescindibles y estrechamente interrelacionados:

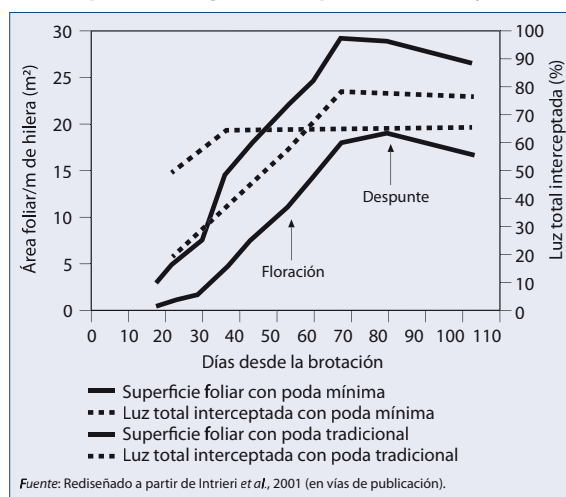
- Una elevada capacidad para captar la radiación incidente.
- Una elevada capacidad para convertir la radiación captada en materia seca.
- Una elevada capacidad para derivar la materia seca y acumularla en los órganos con interés comercial (los racimos).

En los siguientes párrafos se analizará, con ejemplos específicos, algunos de los factores determinantes para el cumplimiento total o parcial de estos requisitos, y en la última parte de este documento se analizarán brevemente las últimas innovaciones en cuanto a metodologías para valorar la eficiencia de una canopia de vid.

Gráfica 1
 Concentración de azúcares del mosto y producción (1) en añadas climatológicamente diferentes.



Gráfica 2
 Variación estacional de superficie foliar total y de luz interceptada en sangiovese con poda tradicional y mínima



11.3.1. Radiación disponible

La cantidad total de radiación disponible para un viñedo a lo largo de un ciclo anual es una variable que depende de la localidad y de la añada, y en la que obviamente no pueden influir las decisiones cultu-

rales. Aun así, la eficiencia de la canopia puede verse seriamente condicionada, por ejemplo, por las condiciones climatológicas (en particular la amplitud térmica y la tasa de radiación), y en las añadas más desfavorables disminuye fatalmente la capacidad fotosintética y, con ella, la posibilidad de alcanzar una correcta maduración de la uva. El caso reflejado en la gráfica 1 resulta muy significativo ya que compara la relación entre producción y graduación de azúcares (grado Brix) de la uva concord (*Vitis labruscana* B.), destinadas a la producción de zumos, en una añada desfavorable (por lo general fría y nublada) y en una favorable (cálida y soleada). En particular, conviene fijarse que a igual rendimiento por unidad de superficie, el grado de azúcares alcanzado en la temporada favorable ha resultado ser casi 2-4 °Bx más alto que el de la temporada desfavorable (Lakso, 1993). Este dato deja claro que es muy importante tomar decisiones prudentes en términos de "site selection", es decir, teniendo en cuenta siempre la adaptabilidad del terreno a las exigencias de maduración de la variedad escogida (Fregoni, 1987). Una correcta elección del terreno, además de deseable en cualquier caso, puede resultar también útil para compensar o mitigar posibles efectos negativos si se diera una gestión errónea de la canopia.

II.3.2. Radiación captada

El porcentaje de luz que efectivamente capta la canopia del total de luz disponible es el parámetro más directamente ligado a la cantidad total de materia seca producida a lo largo de la temporada (Smart, 1985).

Por tanto, en líneas generales, una canopia resulta eficiente cuando a lo largo del ciclo anual, consigue garantizar una elevada capacidad de captación de luz incidente que, aun así, podría variar en función de los siguientes factores:

- Altura, espesor y densidad foliar de las paredes vegetales.
- Distancia entre las hileras, orientación y/o exposición de las hileras según si nos encontramos en llano o en colina.
- Presencia de canopias simples o divididas
- Dinámica de formación del superficie foliar en la canopia y tiempo de permanencia de la misma sobre la parte aérea.

Por lo general, las formas de conducción que aventajan a las demás en capacidad de captación lumínica son las que distribuyen la vegetación a lo largo de un plano inclinado (distintos tipos de pérgolas) u horizontal (emparrado). En realidad, en el caso de la vid, esta última forma (foto 1) es la única que cuenta con una distribución "continua" de la canopia y que

por tanto, puede alcanzar, ya desde la floración, niveles de captación lumínica equivalentes al 100% de la tasa de radiación incidente. Esta elevada capacidad de aprovechamiento de la energía radiante es uno de los factores que se esconden detrás de la famosa productividad del emparrado (y no sólo en términos de rendimiento de uva).

Conceptualmente, esto puede aplicarse por extensión también a algunos tipos de pérgolas o pérgolas radiales que logran una distribución de la vegetación sobre diferentes planos, con lo que la capacidad para aprovechar las radiaciones disponibles se eleva a su máxima expresión. En este sentido resulta muy característico el caso de la "pergoletta" romana donde la canopia se extiende tanto en horizontal como en vertical.

Las formas de conducción de la vid en espaldera, marcadas por la formación de una pared vegetal alta y estrecha, cubren el suelo de forma discontinua, por lo que incluso en los casos de canopia completa, se produce una característica pérdida de radiación incidente que llega al suelo sin ser captada por la canopia (foto 2). Por este motivo, el porcentaje máximo de luz captada por una espaldera no alcanzará nunca el 100%, así, según como desempeñen su papel el espesor, la altura o la densidad de la canopia, se aprovechará en torno al 50-70% de la radiación disponible. Por lo general, los porcentajes más bajos de luz captada (<50%) se dan en los casos de plantaciones con una relación desequilibrada (<1) entre altura de la pared y distancia entre hileras o en los tipos de viñedo en vaso en los que la densidad de plantación (foto 3) es muy baja frente a las exigencias de cobertura vegetal necesaria por unidad de superficie.

De la orientación de las hileras depende también la cantidad de luz captada efectivamente por la canopia, pero resulta necesario aclarar que este factor interactúa, y a veces de forma bastante compleja, con la latitud, el momento de la estación, la altura y el espesor de la canopia. Aun así, es cierto que la orientación de las hileras tiene mayor importancia en latitudes bajas (menos de 30° del Ecuador) cuando la trayectoria que el sol describe sobre la bóveda celeste tiende a ser cada vez más paralela a una canopia con orientación Este-Oeste que, en esas condiciones, está penalizada porque una considerable cantidad de radiación sólo roza la canopia sin impactar sobre ella directamente. Por lo que respecta a la franja de latitud donde se desarrolla la viticultura del centro y norte de Italia (42-46° Norte), las diferencias de radiación total captada, en llano, por vides en espaldera con orientación, por ejemplo Norte-Sur y Este-Oeste, no son demasiado relevantes (Baldini e Intrieri, 1987). Por tanto, decidirse entre una u otra orientación debería depender sobre todo de las exigencias de distribución de la luz, ya que la disposición Norte-Sur garantiza una simetría de ilumina-

ción para los 2 caras de la hilera que no se da con la orientación Este-Oeste, donde la cara sur de la pared siempre está asoleada y la norte siempre a la sombra. O podría decidirse en función de aspectos prácticos como facilitar el tránsito o la efectividad de las máquinas, o controlar mejor los factores erosivos.

Resulta por tanto evidente que la elección de sistemas de conducción que tienden a distribuir la vegetación a lo largo de planos horizontales o inclinados resta importancia a la influencia de la orientación de la hilera.

Entre los factores culturales que pueden modificar de forma sustancial el valor y la dinámica de la tasa de luz capturada por una canopia de vid están el sistema de conducción y la poda. Uno de los métodos culturales más eficaces para aumentar la cuota de luz captada por un viñedo por unidad de superficie sin dificultar el tránsito entre hileras (como sucedería con un estrechamiento excesivo de las calles) es la división de la canopia. De esta forma, en la práctica, se dobla la superficie de captación de cada hilera. El sistema de conducción de doble cortina tipo GDC (foto 4) es una de las formas de conducción que cumple este requisito y que, por tanto, presenta casi siempre tasas de captación lumínica superiores a las que se alcanzan con los sistemas en espaldera (Poni *et al.*, 1996).

La cantidad y dinámica de la captación lumínica dependen también de lo precoz que haya sido la formación del aparato foliar que, además de ser una variable directamente relacionada con la disponibilidad de sumatorias térmicas del período que va de la brotación al cuajado, está también en función de la técnica de poda. De hecho, en el caso que se opte por una poda rica (con una carga elevada o muy elevada de yemas por cepa), debido al alto número de brotes que se desarrollan ya en las primeras fases del crecimiento, la canopia presenta una notable velocidad de formación y, con ello, capta una mayor tasa de luz frente a lo que sucede, por ejemplo, en vides podadas con métodos "convencionales". La gráfica 2 recoge una cuantificación de este efecto. Se puede observar cómo un mes después de la brotación, unas cepas de Sangiovese sometidas a una poda mínima (técnica desarrollada y ampliamente utilizada en Australia que contempla una supresión de no más del 10-15% de las yemas) presenta un área foliar de aproximadamente 9 m²/m de hilera frente a sólo 2 m²/m de las vides podadas tradicionalmente. Por lo tanto, en una misma fecha, la tasa de radiación captada en el caso de la poda mínima fue de un 60% frente al 30% capturado por canopias podadas de forma convencional (Intrieri *et al.*, 2001, en vías de publicación).



Foto 1
Un viñedo emparrado que por su característico techado vegetal garantiza, por lo normal a partir de la floración, una tasa de luz captada próxima al 100% de la disponible.

Foto 2
Un sistema en espaldera (cordón espolonado), con orientación Norte-Sur, fotografiado en un momento del día próximo al mediodía solar. Ya que el sol está en paralelo con el eje longitudinal de la hilera, el porcentaje de luz captada (puede comprobarse observando la sombra que la canopia proyecta sobre el suelo) es muy pequeño y en la práctica se corresponde con el espesor de la vegetación.





Foto 3
Un viñedo conducido en vaso en la zona de Valladolid. Por motivos ligados sobre todo a cuestiones legislativas (en muchas áreas vitícolas españolas los niveles máximos de producción consentidos por hectárea son bajísimos) la distancia entre las hileras es bastante amplia lo que hace que una considerable parte de la radiación incidente se pierda sobre el suelo sin ser captado por la canopia.

Foto 4
Una toma frontal de algunas hileras conducidas en cortina doble tipo GDC. Se puede observar, por las sombras que se proyectan sobre el suelo, que por cada hilera hay 2 cortinas paralelas de vegetación. Esta característica asegura unas tasas muy altas de captación lumínica por unidad de superficie sin alterar la distancia entre las hileras que, en este caso concreto (una plantación de pignoletto sobre S04) ha quedado fijada en 4m.



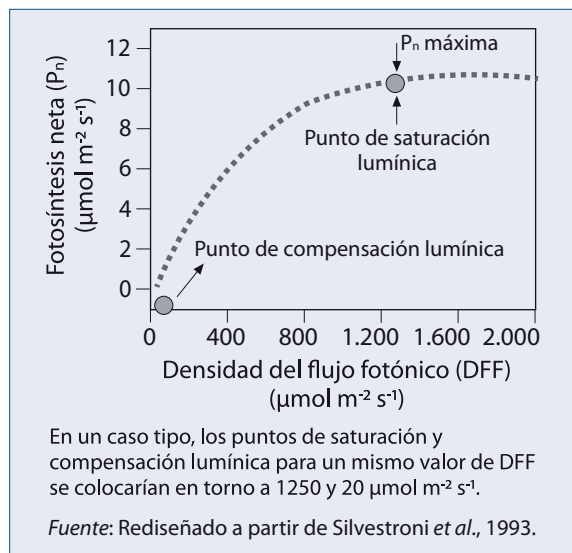
II.3.3. Conversión de la radiación en materia seca

La eficiencia de un sistema de conducción no se mide sólo por la fracción de luz captada sobre el total disponible sino también, y sobre todo, por la capacidad de la canopia para transformar, con la fotosíntesis, la energía lumínica en complejos que después se utilizan en el crecimiento, maduración y restablecimiento de las reservas. Como es sabido, la luz es el factor am-

biental más importante a la hora de regular la fotosíntesis neta (P_n) y la variación de P_n cuando aumenta la densidad de flujo fotónico (DFF), la llamada "curva de saturación lumínica", tiene una evolución asintótica con incrementos muy rápidos en la franja de DFF comprendida entre los 0 y los $400 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ (gráfica 3) y ganancias cada vez menores por sucesivos aumentos de la disponibilidad energética. Este tipo de comportamiento, en el caso específico de hojas adultas pero no todavía senescentes de la variedad sangiovese (Silvestroni *et al.*, 1993) muestra 2 puntos característicos:

Gráfica 3

Fotosíntesis neta e incremento de la densidad de flujo fotónico en hojas maduras de sangiovese.



- Punto de compensación lumínica, definido por el valor de DFF con el que se corresponde una fotosíntesis neta igual a 0. Para la vid el punto de compensación por lo general se encuentra entre 10 y $20 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$.
- Punto de saturación lumínica, definido por el valor de DFF más allá del cual no se registran posteriores incrementos de fotosíntesis neta. Para la vid, el punto de saturación lumínica varía en general entre los 600 y los $1200 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ e identifica también, obviamente, el valor de máxima P_n que en las variedades de *Vitis vinifera* oscila normalmente entre 15 y $20 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$.

La curva que recoge la gráfica 3 implica un particular valor fisiológico y de aplicación ya que el comporta-

miento de tipo asintótico casi no se inmuta cuando varían las condiciones ambientales y culturales. Sin lugar a dudas, éstas pueden influir en el valor absoluto de los 2 parámetros característicos, pero aun así, el modelo de variación de la fotosíntesis en relación con la intensidad lumínica sigue presentando una franja inicial durante la cual, incluso los incrementos de DFF moderados provocan un aumento consistente de P_n , y una zona próxima a la saturación lumínica donde incluso los incrementos considerables de DFF tienen efectos mínimos o nulos sobre la P_n .

El valor de aplicación de la relación luz-fotosíntesis queda plasmado en la gráfica 4. Si imaginamos una canopia de vid como una serie superpuesta de capas foliares y consideramos que cada uno de ellos absorbe una media aproximada del 85-90% de la DFF que le llega, es fácil intuir que la capa de vegetación inmediatamente por debajo del exterior aunque reciba una cantidad de DFF equivalente, para ser específicos, un 10% de la incidente ($1600 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$), realizará una fotosíntesis que no alcanzará el 20-25% de la máxima. La tercera capa de hojas, que a su vez sólo cuenta con un 10% de la DFF de la que se beneficia la capa anterior ($16 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ en el ejemplo reflejado), se acercará o incluso quedará por debajo del nivel de compensación lumínica. Resulta por tanto evidente que la gestión del follaje en cualquier sistema de conducción debería tender, según los principios fisiológicos descritos en la gráfica 4, a formar no más de 2 capas foliares. Aun así, esta casuística da por hecho que las hojas están en una posición ortogonal a los rayos solares, por lo que resulta demasiado simplista frente a las múltiples combinaciones de inclinación y orientación foliar que caracterizan a las canopias. De hecho, en una "comunidad" de hojas es muy posible que algunas sean ortogonales a la dirección de los rayos solares pero es igual de probable que las hojas formen un ángulo agudo en relación a la posición del sol (hasta el límite de quedar en paralelo a los rayos) por lo que dejarían pasar un porcentaje más alto de luz que podrían aprovechar las hojas de las capas inferiores. Es por tanto probable que, en una canopia de vid, el número medio de capas foliares que permiten una distribución óptima y, por tanto, el aprovechamiento de la tasa de luz captada ronde los 3. De hecho, un número mayor de capas además de no suponer una mayor ganancia fotosintética apreciable, aumentaría la densidad del follaje hasta niveles que favorecerían la aparición de enfermedades fúngicas. Además ha quedado demostrado que en las canopias particularmente densas (¡las vides vigorosas pueden alcanzar las 10 capas!) se da un sombreado excesivo durante la franja productiva, lo que normalmente implica una mala pigmentación (en las uvas tintas), un pH y una acidez total demasiado elevados, y una dominancia de sustancias aromáticas que acentúan, a veces de forma desequilibrada, el gusto "herbáceo" de los vinos (Kliewer y Smart, 1989).

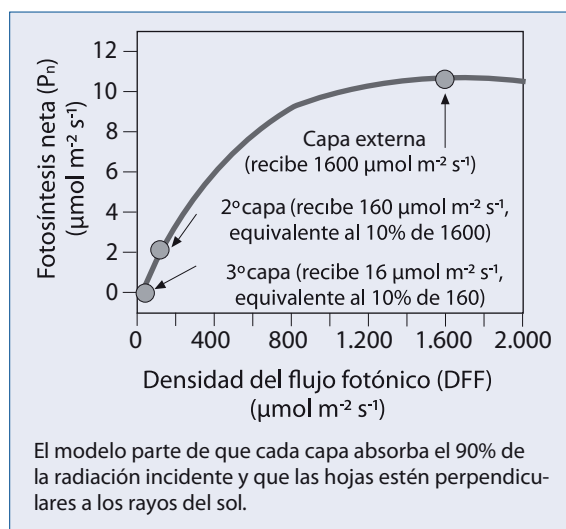
Foto 5

Detalle del procedimiento que determina el porcentaje de luz captada por una canopia de vid mediante una barra lineal sobre la que se han instalado sensores de DFF. La barra se desplaza horizontalmente sobre el terreno de forma que se realiza un muestreo del área de suelo donde se proyecta toda la sombra de la canopia. Así se obtiene el valor medio de la densidad de flujo fotónico (DFF) que se resta al que se mide, también horizontalmente, por encima de la canopia. La diferencia entre los 2 es una estimación de la cuota de luz interceptada directamente por la parte epigea.



Gráfica 4

Modelo hipotético de atenuación de la densidad de flujo fotónico en relación con la posición de las capas foliares de una canopia de vid.



II.3.4. Migración y acumulación de la materia seca a los racimos

El tercer requisito que una canopia de vid debería cumplir para poder hacer honor al adjetivo "eficiente" es el relativo a su capacidad para derivar a los racimos una cantidad de materia seca suficiente para que el producto alcance la maduración. Es decir, es indispensable establecer un equilibrio óptimo entre la disponibilidad y la necesidad de carbohidratos. En la vid, este equilibrio se expresa normalmente con la relación entre superficie foliar activa (es decir, bien expuesta a la luz, sana, ni demasiado vieja ni dema-

siado joven) y la carga de uva. Varias aportaciones experimentales (Kliewer y Weaver, 1971; Smart, 1985; Lakso, 1993) avalan la hipótesis de que más allá del umbral de los 8-12 cm² de superficie foliar activa (SFA) por gramo de uva (correspondiente a 0,8-1,2 m²/kg) no son apreciables posteriores incrementos en el crecimiento del grano, la graduación de azúcares, la intensidad del color y otros parámetros de maduración. Por lo que es evidente que, en cualquier tipo de canopia, se alcanza la plena maduración sólo si se alcanza este umbral mínimo.

El valor de la SFA puede disminuir por la acción de una multitud de factores (sombreado sobre o entre las hileras, estrés hídrico y nutricional, incidencia de enfermedades, períodos climáticos con temperaturas por lo general bajas y días nublados etc.) que, aun cuando la carga de uva no es demasiado elevada, pueden reproducir la situación típica de los casos de sobreproducción (es decir, carencia de superficie foliar por unidad de masa fresca de uva) con repercusiones claramente negativas sobre la regularidad y la terminación de la maduración. Por lo general, para evitar que se den situaciones de este tipo, el viticultor actúa de forma preventiva sobre el volumen de producción, regulándolo primero mediante la poda invernal, y, si fuera necesario, también más tarde mediante el aclareo de racimos.

Una derivación eficiente de los fotoasimilados a los racimos presupone además que, especialmente después del envero, haya poca competencia por parte de los sumideros (centros de polarización) alternativos que pueden ser brotes principales que todavía no han agotado su propio crecimiento (gráfica 5), pero es más habitual que se trate de nietos, estimulados tardíamente y que se encuentran en pleno proceso de crecimiento vegetativo a la vez que se está produciendo la rápida acumulación de solutos en el interior del grano. También en este caso es aconsejable actuar -con cautela- sobre los factores que regulan el potencial y la dinámica del crecimiento vegetativo (poda invernal y estival, gestión del abono y del riego, gestión del suelo) para aproximarse a las condiciones ideales de desarrollo que implicarían una formación rápida de la superficie foliar hasta la fase de floración, y una progresiva reducción de la actividad vegetativa del cuajado en adelante. En un supuesto ideal, ésta debería detenerse completamente cerca del envero.

II.3.5. Criterios de valoración de la eficiencia de la canopia de vid

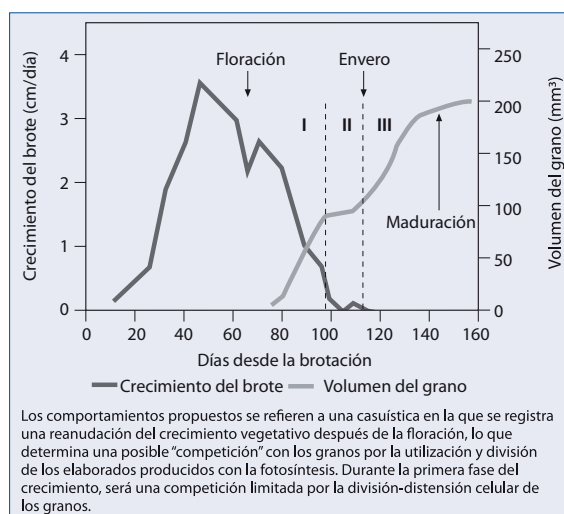
II.3.5.1. Cálculo de parámetros o índices simples

La intensa labor de investigación llevada a cabo, especialmente durante los últimos 30 años, sobre la ecofisiología de la vid ha permitido incluir muchos índices o parámetros que hoy en día son indicadores

aceptados (aunque todavía indirectos) del grado de densidad foliar de la canopia y/o del equilibrio vegeto-productivo. Entre los que tienen un mayor interés aplicativo, por ser más fáciles en términos de cálculo y de estimación, están:

- La relación entre la superficie foliar total y la superficie exterior de la canopia. Se cree que si este índice se aproxima a valores de 1,5 indica una elevada capacidad de captación lumínica, asociada a una correcta distribución de la luz en el interior de la canopia. Según Smart (1985), si se dobla el valor de este índice se obtiene también, de forma bastante aproximada, el número medio de capas foliares.
- La densidad de los brotes por unidad de longitud de pared. Se cree que más allá del umbral de 15-20 brotes/m empiezan a notarse los efectos de una condensación excesiva de la vegetación.
- La relación entre el peso de la producción y el de la madera de poda, conocido como índice Ravaz. Este índice, aunque resulta un poco impreciso, puede indicar el nivel efectivo de equilibrio vegeto-productivo alcanzado por la vid y, sobre todo, puede servir como aviso de situaciones de desequilibrio por exceso o falta de vigor. Debería oscilar entre 6 y 10 para variedades de racimos grandes, o muy productivas, y entre 3 y 6 para variedades de racimos pequeños o con menos yemas fértiles.
- Peso de la madera de poda de un año. Por lo general, se cree que debería oscilar entre 300 y 600 g/m de pared. En caso de que supere 1 kg/m se entra en una franja de capacidad vegetativa tan elevada que haría aconsejable un sistema de conducción que dividiera la canopia y, por tanto, repartiera la carga de yemas en 2 paredes vege-

Gráfica 5
Modelos de crecimiento del brote (cm/día) y del grano (mm³) en *Vitis vinifera* L.



tales diferentes que podrían ser paralelas o superpuestas.

- El peso del sarmiento. Puede considerarse un buen índice directo del vigor. En situaciones de equilibrio debería de oscilar, incluyendo a los posibles nietos, entre 20 y 40 kg. La utilidad de este parámetro queda en parte inutilizada por el frecuente recurso al despunte de los brotes que, obviamente, invalida su valor comparativo.

II.3.5.2. Medición de la luz captada y de algunos de sus componentes

La tasa de luz captada por la canopia hoy en día se determina fácilmente como la diferencia entre la cantidad de densidad de flujo fotónico (DFF) medida en un plano horizontal encima de la canopia y la que efectivamente alcanza el suelo (foto 5). Si el valor de luz captada se expresa por unidad de superficie (hectárea) obviamente será necesario incluir también la tasa de radiación que no atraviesa la canopia y que se pierde directamente contra el suelo; por el contrario, en el caso de que el valor se exprese por unidad de

canopia, bastará con hacer referencia a un área establecida de suelo que contenga, a cualquier hora del día, toda la sombra que la canopia proyecta sobre el suelo.

Aun así, últimamente se están desarrollando nuevas metodologías que permiten descomponer el dato global de luz captada por vid por componentes que hagan referencia a órganos o a posiciones específicas de la canopia. Esta posibilidad resulta interesante porque permite comprobar, por ejemplo, si partes de la canopia con importancia estratégica (la zona de los racimos o el tramo basal de los sarmientos que, en el caso de la poda corta, se conserva después de la poda de invierno) reciben una iluminación suficiente. Algunos autores (Poni *et al.*, 1996) han desarrollado una metodología a partir de un puntero láser que se desplaza sobre un semicírculo metálico colocado encima de la canopia (foto 6), y que, una vez calibrado en función de la latitud del lugar y del ángulo de declinación solar de un día específico puede simular a la perfección la trayectoria del sol sobre la bóveda celeste. De forma que se puede reproducir rápidamente, sin estar supedi-



Foto 6

Un momento de la puesta a punto de la técnica de muestreo con rayo láser de una canopia de vid, para lograr una estimación del grado de exposición lumínica de los órganos específicos (hojas, racimos, yemas, etc.). El puntero láser, colocado sobre el arco metálico y sincronizado con la latitud del lugar y la declinación solar del día en cuestión, puede simular exactamente, con su recorrido sobre el arco, la trayectoria del sol sobre la bóveda celeste. Supone la gran ventaja de "recrear" en pocos minutos la posición del sol a las diferentes horas del día sin estar supeditados al tiempo cronológico. En la foto se puede reconocer al prof. Alan Lakso de la Cornell University (EE.UU.)

Foto 7

Una imagen del sistema de intercambio gaseoso para canopias de vid enteras ya ensamblado, en este caso, sobre 4 vides de sangiovese conducidas en cordón espolonado. El sistema, que utiliza envolturas de polietileno transparente, puede encapsular toda la parte aérea e interna dentro de las cámaras, permite monitorizar de forma continua los intercambios de CO_2 y H_2O de entrada y salida, y por tanto el cálculo de los niveles de fotosíntesis neta y de transpiración.



Tabla

Luz interceptada (%) por distintas partes de la canopia y distintos órganos en tres sistemas de conducción y dos épocas.

Sistema	Epoca	Nudos 1-6	Nudos >6	Hojas principales	Hojas de nietos
Cordón libre	Cuajado	48	52	74	17
	Final del crecimiento	43	57	55	36
Doble cortina	Cuajado	56	44	61	26
	Final del crecimiento	59	41	63	22
Cordón espolonado	Cuajado	27	73	66	24
	Final del crecimiento	31	69	45	45

Fuente: Extraído de Poni et al., 1996

tados al tiempo cronológico, la posición del sol a las distintas horas del día y alcanzar la canopia con el láser por cada una de ellas. Siguiendo el recorrido del láser por la canopia se pueden por tanto identificar los órganos (hojas o racimos) que son alcanzados directamente por el rayo (y que por lo tanto quedan clasificados como expuestos directamente a la luz) y los que por el contrario no “ven” el láser (que quedan clasificados como sombreados). En la tabla se recoge una interesante aplicación de este método sobre canopias de sangiovese en cordón libre, GDC y cordón espolonado. Los datos se recogieron en 2 épocas diferentes, una correspondiente a la fase previa al despunte de los brotes, y la otra a la fase del envero (casi 45 días después del despunte), y evidencian algunos aspectos bastante interesantes:

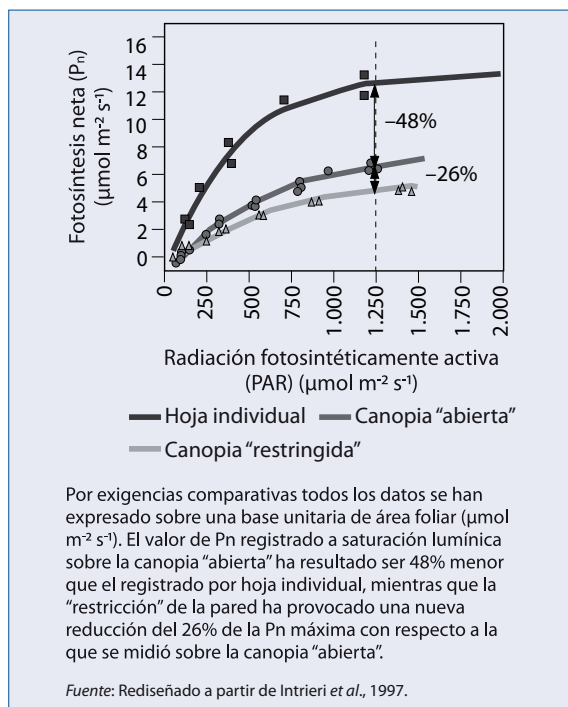
- Independientemente de la época de recogida de los datos, en el sistema GDC se observa, por el porte colgante de la vegetación y por el “peinado” manual de los brotes (separación de las cortinas), una mayor captación lumínica en el tramo basal del sarmiento (en la tabla se corresponde con la zona comprendida entre el 1º y el 6º nudo).
- La reacción en los nietos tras la poda en verde tiene una repercusión directa sobre la cantidad de luz captada por este tipo de brotes; si se comparan con los primeros datos (antes del despunte) la luz captada por los nietos fue mayor en los sistemas que tienen una mejor respuesta ante las operaciones de corte (cordón espolonado y cordón libre).
- En el caso del cordón espolonado la tasa de radiación que los nietos captan en el envero (canopia completa) es prácticamente idéntico (45%) al que capturan las hojas principales. Este comportamiento representa sin lugar a dudas un grado de eficiencia frente a los otros sistemas donde la tasa de radiación captada por los nietos es siempre sensiblemente menor de la que alcanza directamente a las hojas principales.

2.3.5.3. Medición directa de la fotosíntesis total de la canopia

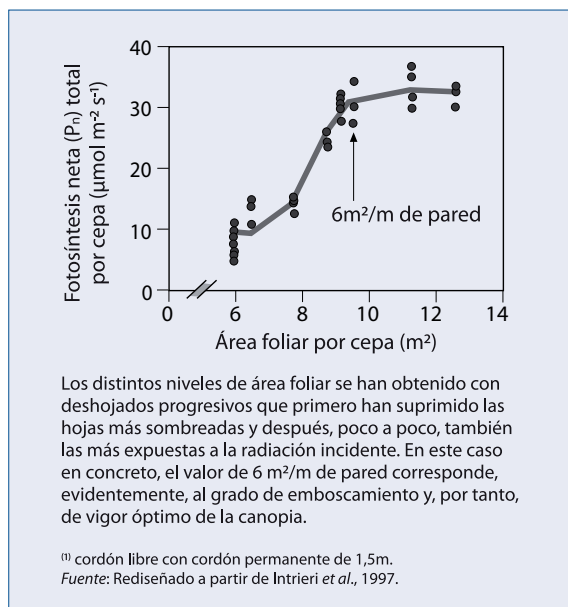
La llegada de sistemas de intercambio gaseoso que permiten englobar toda la parte epigea de la vid facilitando una medición directa de la cantidad de CO₂ que la canopia asimila con la fotosíntesis sin duda han revolucionado las metodologías de valoración de la eficiencia de la canopia y, en particular, de las interacciones entre estructura geométrica, radiación y balance de materia seca (Poni et al., 1997; Intrieri y Poni, 1998). De hecho, una canopia de vid es un sistema increíblemente complejo. Sobre sus parámetros de funcionalidad foliar actúan de forma simultánea variables como la temperatura, la radiación, la humedad relativa, el viento, la edad de las hojas, la relación fuente-sumidero lo que dificulta muchísimo cualquier intento de extrapolar los resultados obtenidos a partir de una sola hoja. Si tenemos en cuenta que en un momento determinado del día la tasa de área foliar plenamente activa (o sea expuesta a una DFF no inferior al punto de saturación lumínica) de una canopia de vid cualquiera depende de la posición del sol, de la orientación-inclinación de las hojas y del grado de ventilación, y que, 2 horas después, esa misma cuota de superficie foliar activa ya podría haber variado de forma considerable, nos damos cuenta de la enorme variabilidad espaciotemporal del sistema que estamos estudiando. Una medición directa de los intercambios gaseosos de la canopia permite superar estas dificultades y aunque presente algunas limitaciones desde el punto de vista aplicativo (complejidad en el montaje y calibrado, y reducido número de replicaciones) es un medio capaz de dar respuestas más precisas sobre los efectos de determinados factores ambientales y culturales sobre el potencial fotosintético de la canopia.

Aquí recogemos 2 ejemplos que nos han parecido especialmente significativos. En la gráfica 6 se muestra una comparación (Intrieri et al., 1997) entre las curvas de saturación lumínica obtenidas de hojas individuales de vides adultas vigorosas y curvas de

Gráfica 6
Curvas de saturación lumínica de hoja individual o de canopias "abiertas" (tipo vaso) o restringida (tipo cordón espolonado) de sangiovese



Gráfica 7
Fotosíntesis total por cepa al aumentar el área foliar en sangiovese (1)



saturación obtenidas en cambio por medición directa de la parte aérea completa. El máximo valor de P_n calculado, con saturación lumínica, por medición directa sobre una canopia con vegetación de porte abierto (tipo vaso o cordón libre) es aproximadamente un 50% más bajo que el calculado por hoja individual. Esta reducción, aunque esperada, es una consecuencia del tipo de medición utilizado. A diferencia de los datos obtenidos con el sistema puntiforme, que generalmente representa las condiciones optimales, el sistema de medición de canopia completa tiene en cuenta la variabilidad de la exposición lumínica, la edad y la funcionalidad que caracteriza a un sistema formado no por una hoja individual sino por una comunidad de hojas. La curva de saturación lumínica determinada por una canopia en pared vertical con hilos de sujeción para los brotes (tipo Guyot o cordón espolonado) muestra además, si se compara con el dato obtenido en una canopia abierta, una nueva disminución (cerca del 25%) del valor máximo de P_n a saturación lumínica. Este decrecimiento está probablemente ligado al efecto de compresión sufrido por la pared vegetal tras la colocación de los alambres de empalimamiento de los brotes, porque determina una nueva degradación energética en las zonas internas de la canopia con valores de DFF a menudo iguales o poco por encima del punto de compensación lumínica. El segundo ejemplo, en cambio, hace referencia a los efectos que se derivan de una operación de deshojado progresivo de la canopia a partir de las hojas internas más sombreadas (gráfico 7). La supresión de casi el 25% del área foliar no altera significativamente la fotosíntesis total de la canopia, lo que sugiere que la fracción de hojas eliminadas desempeñaba una función esencialmente pasiva. El elemento con más interés aplicativo que se desprende de esta investigación (Intriери et al., 1997) es que, por las condiciones específicas del ensayo (variedad sangiovese conducida en cordón libre con una superficie máxima inicial de aprox. $14 \text{ m}^2/\text{cepa}$), el nivel de densidad óptima de la canopia ronda los $9,5 \text{ m}^2$ (aprox. $6 \text{ m}^2/\text{m}$ de hilera). De hecho, con este tipo de vigor, la canopia se llena lo suficiente como para asegurar el máximo rendimiento fotosintético sin superar el límite más allá del cual cualquier añadidura de superficie foliar conllevaría un empeoramiento del microclima, y, por tanto, posibles efectos negativos sobre la calidad de las uvas (mayor tendencia a la pudrición).



ciadamente, basta con que uno solo de los anillos de esta cadena sea más débil que el resto para comprometer el resultado final. Conviene apuntar también que aunque en los últimos 20 años se han llevado a cabo incuestionables avances en esta materia, la definición del concepto de eficiencia y la identificación de unos parámetros para calcularla, simples pero fiables, siguen resistiéndose.

De cara al futuro resultan prometedores los primeros resultados que se están obteniendo con algunos modelos matemáticos de tipo user-friendly (no demasiado complicados y por tanto al alcance de muchos operadores) que parecen capaces de realizar una estimación, en un momento cualquiera de la temporada, de la disponibilidad de "fuentes" (o sea, carbohidratos producidos por la fotosíntesis). Esta disponibilidad de "fuentes", una vez cotejada con la demanda de carbohidratos (que en esencia depende del crecimiento de los brotes y racimos), podría acabar por identificar, para un determinado sistema de conducción o de condiciones culturales, los períodos de exceso o de carencia de recursos, lo que sugeriría por tanto modos más racionales de gestión de la canopia.



II.3.7. Referencias bibliográficas

Baldini E., Intrieri C. (1987) - Photon flux rate (PFR) on hedgerow models in relation to hedgerow height, row spacing and row orientation. *Adv. Hort. Sci.*, 1: 3-7.

Fregoni M. (1987) - **Vitigni e territorio.** Vignevini: 1-2.

Fregoni M. (1998) - **Viticultura di qualità.** Grafiche Lama, Piacenza.

Intrieri C., Poni S., Rebucci B., Magnanini E. (1997) - *Effects of canopy manipulations on whole-vine photosynthesis: results from pot and field experiments.* *Vitis*, 36: 167-173.

Intrieri C., Poni S. (1998) - Misure degli scambi gassosi su chiome intere di vite. *Bilancio di un quadriennio di esperienze.* *Frutticoltura*, 11: 69-83.

Intrieri C., Poni S., Lia G., Gomez del Campo M. (2001) - *Vine performance and leaf physiology of conventionally and minimally pruned Sangiovese grapevines.* *Vitis*, in corso di stampa.

Kliewer W.M., Weaver R.J. (1971) - *Effect of crop level and leaf area on the growth, composition and coloration of Tokay grapes.* *Amer. J. Enol. Vitic.*, 22: 172-177.

Kliewer W.M., Smart R.E. (1989) - *Canopy manipulation for optimizing vine microclimate, crop yield and composition of grapes.* In: «*Manipulation of fruiting*». C.J. Wright Ed., Butterworth & Co. Publishers: 275-291.

Lakso A.N. (1993) - Viticultural and physiological parameters limiting yield. *Proc. 2° N.J. Shaulis Grape Symp.* In: «*Pruning mechanization and crop control*». Fredonia State Univ., Fredonia, New York, luglio 13-14.

Poni S., Magnanini E., Rebucci B. (1997) - *An automated chamber system for measurements of whole-vine gas exchange.* *Hort Sci.*, 32: 64-67.

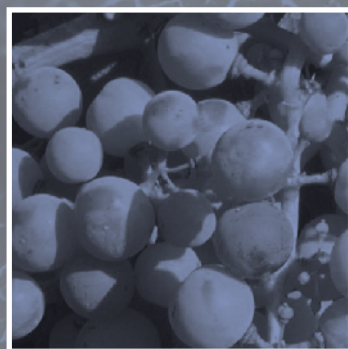
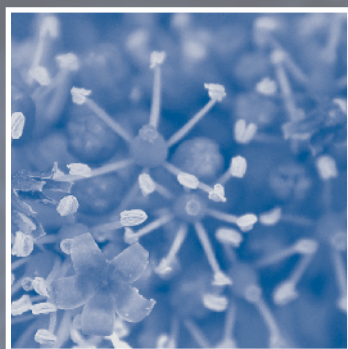
Poni S., Lakso A.N., Intrieri C., Rebucci B., Filippetti I. (1996) - *Laser scanning estimation of relative light interception by canopy components in different grapevine training systems.* *Vitis*, 35: 177-182.

Silvestroni O., Poni S., Intrieri C., Fontana M. (1993) - *Effects of light regimes on chlorophyll concentration and gas-exchange in Vitis vinifera L.* *Vitic. and Enol. Sci.*, 3-6: 96-100.

Smart R.E. (1985) - Principles of grapevine canopy microclimate manipulation with implications for yield and quality. *Amer. J. Enol. Vitic.*, 36: 230-239.



II.4. Prácticas ambientales y de gestión que afectan a la composición de la uva y a la calidad del vino. Estudio



79	II.4.1. Composición de la uva y factores relacionados con la calidad del vino
81	II.4.2. El efecto del clima sobre la calidad del vino
88	II.4.3. Efectos del suelo sobre la calidad
91	II.4.4. Efectos del rendimiento
92	II.4.5. La poda y los sistemas de conducción
96	II.4.6. Factores diversos
98	II.4.7. Conclusiones
99	II.4.8. Referencias bibliográficas



D.I. JACKSON

*Departamento de horticultura y paisaje
Lincoln University, Canterbury, New Zealand.*

P.B. LOMBARD

*Departamento de horticultura y paisaje
Oregon State University, Corvallis, Oregon.*

Original publicado en American journal of enology and viticulture 1993, vol 44 nº4

La producción mundial de vino se ha incrementado progresivamente durante los últimos años y el consumo no lo ha hecho al mismo ritmo, así muchos países tienen excedentes de vino, cosa que plantea problemas para el comercio internacional. A pesar de ello, por lo general no hay excedente de vinos de gran calidad. La calidad no es fácil de definir, pero idealmente debería estar ligada a características intrínsecas de aroma, gusto, o vista, percibidas como superiores a la media para ese tipo de vino. Habitualmente, esta calidad se refleja en el precio que se paga por el vino en cuestión, si bien el precio no es necesariamente un indicador fiable, ya que en él pueden influir la moda, la tradición, la disponibilidad y las preferencias personales. Desafortunadamente, a pesar de las numerosas referencias a la calidad, y de la cantidad de trabajo que se dedica directa o indirectamente a ella, todavía existe confusión sobre cuál es la contribución real del clima, la localización, y las prácticas vitivinícolas. Este documento es un estudio de los efectos de las prácticas ambientales y de gestión que podrían cambiar la composición de la uva y la calidad del vino. Su alcance se limita a vinos de mesa más que vinos generosos.

II.4.1. Composición de la uva y factores relacionados con la calidad del vino

La evaluación de los factores que podrían influir en la calidad, resulta especialmente difícil por los problemas que plantea la determinación de la calidad. En última instancia se debería definir ésta en función del gusto, la vista y el olfato, factores que son inevitablemente subjetivos y varían de un catador a otro. Los paneles de cata bien llevados pueden proporcionar conocimientos muy útiles sobre la calidad, pero investigando la bibliografía, a menudo es difícil obtener más que una idea meramente superficial sobre los métodos empleados. Los análisis químicos de los vinos serían un método ideal de evaluación, siempre que se pudieran relacionar correctamente con la evaluación sensorial. Cabe esperar que con una tecnología más avanzada, aumenten dichas posibilidades; entretanto existen algunos indicadores que comentamos a continuación.

II.4.1.1. Sólidos solubles:

Los sólidos solubles (SS) se expresan como ° Brix (grados Brix), ° Balling, ° Baumé, o ° Oechsle, y se pueden medir mediante diversos métodos (7, 80, 194). En el momento de la maduración o poco antes de ésta (18° Brix), los niveles de SS se sitúan en torno a un 1% de contenido de azúcares (glucosa y fructosa); antes de ese momento, en cambio, los niveles de azúcar podrán ser un 4% o 5% menores que los SS, discrepancia que se debe a otros componentes con índices refractivos similares (48). Los niveles de azúcar indican el grado alcohólico potencial tras la fermentación y la posibilidad de que queden azúcares residuales. A medida que madura la uva, los SS aumentan hasta un nivel que puede indicar un estado adecuado de maduración para una zona vitícola. En las zonas con una temporada corta, rara vez se produce una sobremaduración, y el nivel de SS es un indicador útil de maduración y calidad. De ese modo, normalmente los precios se fijan en función de los SS presentes en las uvas vendimiadas (105). En Alemania, por ejemplo, el vino se clasifica según el nivel de sólidos solubles de las uvas vendimiadas. La Tabla 1 muestra los niveles ° Brix necesarios para cada clasificación. Normalmente el precio se incrementa de izquierda a derecha. Los vinos de categoría inferior a Kabinett normalmente se chaptalizan.

En las regiones más cálidas y con menos precipitaciones, la utilización de los SS es menos eficaz para determinar la calidad del vino, a menos que se controlen asimismo otros componentes. Las uvas con un alto ° Brix pueden producir vinos con alto grado alcohólico, lo cual oculta otros componentes de calidad. Por ello, en las regiones más cálidas a menudo se utiliza un límite superior a 24° Brix para indicar la maduración adecuada para los vinos blancos y tintos de mesa de calidad (205).

II.4.1.2. Ácidos orgánicos:

Consisten principalmente en ácidos tartáricos, málicos, y cítricos y se pueden medir por titulación y expresar en acidez total (AT), ya sea equivalente a ácidos tartárico o sulfúrico. El ácido málico se puede medir enzimáticamente, el ácido tartárico



Tabla 1
Sólidos solubles necesarios para los vinos clasificados alemanes en la zona sur de Baden
 (Datos de N Becker, comunicación personal)

Variety	Rangos de ° Brix para cada clasificación			
	Tafelwein/ Landwein	Qualittswein	Qualittswein mit Pradikat	
			Kabinett	spatlese
Chasselas	12.4-15.2	15.3-18.2	18.3-20.4	20.5-23.8
Riesling	12.4-14.5	14.6-18.2	18.3-20.4	20.5-23.5
Müller Thurgau	12.4-15.9	16.0-18.2	18.3-21.1	21.2-23.8
Gewürztraminer	12.4-17.3	17.4-20.3	20.4-21.7	21.8-24.5

por colorimetría, y ambos se pueden medir mediante cromatografía líquida de alta resolución (HPLC). El desarrollo de los ácidos de la uva depende de la fotosíntesis, cuya carencia raramente limita la AT. La reducción de AT durante la maduración guarda relación con la tasa de respiración de la uva y depende de la temperatura. El ácido málico es el ácido en el que más influye la respiración, y la mayor diferencia entre los climas cálidos y frescos es que en condiciones frías los malatos disminuyen lentamente, mientras que lo hacen rápidamente en las regiones cálidas (205). Así pues, a menudo se dice de los vinos de climas más fríos, como el Mosel en Alemania, que tienen una reminiscencia a aroma de manzanas (84). El vino con demasiado ácido (AT equivalentes o por encima de 10g/L) es áspero al gusto y puede requerir una desacidificación. En climas cálidos el ácido puede ser demasiado bajo (por debajo de 6-7 g/L) lo cual produce un vino flojo que se puede ajustarse añadiendo ácido tartárico o cítrico.

II.4.1.3. pH:

Un pH superior a 3,60 en el vino puede causar problemas. Los pH altos incrementan la actividad relativa de los microorganismos, como las bacterias, rebajan la intensidad del color de los vinos tintos, aglomeran más dióxido de azufre y reducen el contenido libre de SO₂, y pueden reducir también la capacidad de envejecimiento del vino. El aumento del pH a menudo es paralelo a un aumento de los SS durante la maduración y puede resultar un indicador del momento óptimo de la vendimia. Los varietales que pueden tener un pH alto son gewürztraminer y cabernet sauvignon; el riesling y el chardonnay rara vez llegan a tener un pH alto en climas fríos. Por ello, la maduración de estos varietales debe ser objeto de un seguimiento concienzudo del pH del mosto, así como de otros componentes antes de la vendimia.

II.4.1.4. Compuestos fenólicos y antocianos:

Los compuestos fenólicos, que se extraen de los hollejos, pepitas y el raspón durante el despalillado, es-

trujado y fermentación, son el componente tánico del vino que transmite su sabor amargo y astringente. Los antocianos son un componente determinante del color del vino tinto. La gama de compuestos fenólicos presentes y sus concentraciones son determinantes del sabor. Las variaciones de contenido e índole de los fenoles durante el envejecimiento son una razón significativa de por qué la crianza de los tintos suele ser más larga que la de los blancos. Los vinos blancos elaborados con mosto exclusivamente tienen relativamente menos compuestos fenólicos, gran parte de los cuales son ácido caftárico y componentes afines (166). Los tintos resultantes de una fermentación del mosto y los hollejos tienen niveles similares de ácido caftárico y de componentes afines, pero un contenido mucho mayor de flavanoides y compuestos fenólicos total. Todos los compuestos fenólicos como los flavanoides o el ácido caftárico se han medido en mg/g de peso en fresco (135) o mg/L de vino (167). Los antocianos se miden por análisis de espectro o HPLC (cromatografía líquida de alta resolución), siendo este último un medidor más certero de los antocianos libres (166). Los antocianos se miden en mg/g de peso en fresco de las uvas o mg/L de vino.

II.4.1.5. Monoterpenos.

Algunas variedades de uva blanca, entre ellas los moscateles, sauvignon blanc, riesling, y gewürztraminer, contienen cantidades significativas de terpenos volátiles que se pueden medir como terpenos libres o como terpenos volátiles potenciales (51.203). Se ha comprobado que los terpenos de potencial volátil y los libres se acumulan en las uvas al principio del verano y alcanzan un máximo nivel de 22° Brix en condiciones como las de Australia. Los monoterpenos contribuyen al característico sabor y aroma de estos varietales con alto contenido aromático. Por ejemplo, Ewart (53) halló una correlación positiva entre la puntuación del vino y la suma total de terpenos volátiles en el riesling en el Sur de Australia. De momento, aún no se han determinado los niveles adecuados para una óptima calidad del vino.

2.4.1.6. Otros componentes

Los trabajadores que realizan pruebas de gestión del viñedo pueden relacionar otros componentes del zumo de la uva con el tratamiento. Se han registrado la polina, arginina y otros cinco aminoácidos (27, 28), pero su importancia en la calidad del vino todavía es una conjetura. Coombe e Iland (46) destacan que una disminución de los componentes de nitrógeno puede causar problemas en la fermentación, y creen que puede contribuir más de lo que se piensa a las propiedades organolépticas.

Un estudio realizado recientemente en Australia relata que hay al menos dos alquilinos metoxipirazinos con las características gustativas del sauvignon blanc (109). Estos componentes, a niveles muy bajos de 8 a 26 ng/L, contribuyen a las características vegetativas distintivas del vino elaborado a partir de esa uva (2). Anteriormente ya se había señalado la existencia de esos mismos componentes en el cabernet sauvignon en Francia (15). Se han aislado otros componentes en las uvas (ver 191), pero hay que seguir investigando para poder establecer definitivamente su función en la calidad del vino.

II.4.1.7. Desarrollo asíncrono de las uvas:

El examen de un racimo de uvas normalmente indica una diferencia en la maduración entre uvas en diferentes posiciones. Normalmente, las más expuestas estarán más avanzadas en SS y tendrán mayor contenido de fenoles que las situadas a la sombra. También se observan entre racimos: una vez más, los más expuestos al sol acumulan una mayor cantidad de SS y fenoles. El desarrollo asíncrono de las uvas tiene repercusiones sobre la calidad, pues la porción de uvas de óptima calidad queda diluida por las de calidad inferior (46). En dos viñedos de California que cultivaban cabernet sauvignon, Long (113) descubrió que el que producía consistentemente la mejor calidad del vino tenía una maduración con menor variabilidad sobre una muestra de 400 uvas. Las muestras que contenían los extremos, es decir, uvas sobremaduras (blandas) y uvas verdes (herbáceas), reducían la calidad, aunque la maduración media pareciera satisfactoria.

Aparte de los efectos obvios de la exposición al sol, la asincronicidad puede aumentar debido a la variabilidad de la ratio hoja/fruta de los sarmientos individuales (ver apartado 5). En cabernet sauvignon, sarmientos "débiles" (<30cm) producían uvas con menos azúcar, color y compuestos fenólicos. Los vinos de sarmientos "normales" (1, 2m) tenían "sólidos sabores frutales de uva cabernet" y menos cualidades herbáceas (113).

II.4.2. El efecto del clima sobre la calidad del vino

Un estudio sobre áreas viticultoras de todo el mundo parece apuntar una relación entre clima y calidad.

Siempre que el clima sea lo suficientemente cálido como para permitir la maduración de un varietal específico de uva, la calidad estará inversamente relacionada con el calor y la duración del verano; así pues, vemos que se producen más vinos de mesa de calidad en el centro y el norte de Francia que en el sur, en las zonas costeras más frescas de California y Australia más que en las zonas interiores más cálidas, en el norte más que el sur de Italia (84). Becker (19) hizo una afirmación general sobre el efecto climático en la calidad: "En los climas más fríos los vinos blancos son más frescos, más ácidos y de bouquet y aroma más finos; los vinos de regiones más cálidas tienen un mayor contenido de alcohol y menos sabor y aroma".

Los vinos elaborados a partir de un mismo varietal a menudo tienen características típicamente identificadas con la región, p.e., pinot noir de Burdeos, del sur de Nueva Zelanda, de las regiones litorales septentrionales más frescas de California, o el oeste de Oregón. La calidad de estos vinos se juzga en función del carácter regional del vino, como un equilibrio en vinos de color más claro, los aromas afrutados de la baya, y/o vinos frescos. Pero la calidad del vino también puede depender de la temperatura de maduración (Etapa III). Por ello, en una región determinada, el mejor varietal será el que mejor encaje con la duración de la temporada de cultivo, de manera que la maduración tenga lugar durante la parte fría de la temporada, siempre que ésta sea lo suficientemente cálida como para permitir la acumulación de SS y la evolución del sabor en las uvas.

Experimentalmente, una de las principales restricciones para la comprobación de esta hipótesis es la dificultad de conseguir uniformidad y replicación. Obviamente, en las comparaciones entre zonas interfieren diversos aspectos geográficos y del suelo, además de las prácticas viticultoras y de gestión del viñedo. Los propios climas no son uniformes; además de las temperaturas medias, presentan otras variables como diversos rangos de amplitud térmica diaria, diferencias de nivel de precipitaciones y de distribución de las mismas, de humedad y de viento.

II.4.2.1. Temperatura.

(i) Efecto sobre los sólidos solubles: Las temperaturas más cálidas tienen por resultado, casi invariablemente, uvas con una mayor cantidad de SS (1, 61, 205). En dichos climas, los niveles de SS equivalentes a Qualitätswein mit Prädikat (Tabla 1) no serían insólitos, aunque no son necesariamente un indicador de un vino superior o de un vino tan bueno como uno procedente de una zona vitícola más fría con un °Brix similar.

En un estudio controlado sobre pinot gris cultivado en contenedores para minimizar las diferencias de suelos, y en un macroclima frío similar, Becker (18) demostró

Tabla 2
Efectos de las prácticas ambientales y vitícolas sobre 5 parámetros de composición de la uva

Parámetro	Nivel baya	Mesoclima	Condiciones del Suelo	Gestión de dosel (en el envero)	Carga de cosecha (nivel)
Sólidos solubles ° Brix	Alto	Media de las temperaturas diurnas mínima y máxima 16° C-30° C en las Etapas I, II, III (principalmente zonas Beta); elevada insolación Etapas I, II, III; o sol matinal /pendiente hacia el este	Etapa III: humedad del suelo baja; o N en el peciolo 1, 5%-2.0%	Dosel expuesto; capa de hoja a una media de 1.0 -1.5; tamaño min. Sarmiento 10-15 nudos; aclareo a 5-16 sarmientos/metro de hilera	Carga de cosecha moderada; 4-10kg/kg cosecha a peso de poda
	Bajo	Media de las temperaturas diurnas máxima y mínima por encima de 30° C o por debajo de 9° C, en la Etapa III; nublado en las etapas I, II, III; o vinos medios de más de 4ms o altitudes superiores a 300m en latitudes de 45° (principalmente zonas Alfa)	Humedad del suelo excesiva, por encima de 150 mm; lluvia en Etapa III; déficit de humedad del suelo en Etapas II y III; N alto o bajo	Dosel sombreado; capas de hojas por encima de una media de de 3; o despuntadas a menos de 10 nudos/sarmiento; o dosel denso de más de 20 sarmientos/metros de hilera; o laterales excesivos	Carga de cosecha alta: más de 10kg/kg de rendimiento /kg de peso de poda; o virus en las hojas
Acidez Titulable (AT)	Alto	Temperaturas nocturnas inferiores a 15° C en Etapa III; nublado en la Etapa III; o vientos medios de más de 4ms; altitudes superiores a 300m en latitudes más altas; o sitios muy fríos (principalmente zonas Alfa).	Etapa III: exceso de humedad en el suelo	Racimo a la sombra: menos del 60% del racimo expuesto al sol, sarmientos sin despuntar más de 15 nudos	Efectos de las p y vitícolas sob Carga de cosecha alta; más de 10kg/kg de rendimiento /kg de peso de poda.
	Bajo	Temperaturas nocturnas por encima de 15° C en la Etapa III, o temperaturas medias superiores a 22° C en la Etapa I; corrientes en latitudes por debajo de 35° (principalmente zonas Beta).	Déficit de humedad en el suelo en Etapas I, III; o grandes aplicaciones de N	Dosel sombreado; capa de hojas a más de 3 m en promedio; excesiva exposición de los racimos; sarmientos despuntados de 10-15 nudos	Carga de cosecha baja: menos de 5kg/kg de rendimiento /kg de peso de poda
pH	Alto	Temperaturas nocturnas por encima de 15° C en la Etapa III, vientos fuertes; o latitudes por debajo de 35° (principalmente zonas Beta)	Etapa III: exceso de humedad en el suelo; o K alto en el mosto; o aplicación excesiva de N	Dosel sombreado; capa de hojas a más de 3 m en promedio; o más de 20 sarmientos/metro de hilera	Carga de cosecha baja: menos de 5kg de rendimiento /kg de peso de poda

que las uvas en un mesoclima cálido alcanzaban un mayor ° Brix y que los vinos elaborados a partir de estas uvas merecían mejor calificación. Asimismo, Chudyk *et al.* (40) han hallado una correlación altamente positiva entre los SS de la Concord SS en el momento de la vendimia y las unidades de calor del maíz acumuladas (CHU) después de la floración: $CHU=Y2 [1, 85 (T-50° F) - 0, 026 (T \text{ max} - 50° F) 2+(T \text{ min} - 40° F)]$. No todos los estudios observaron una respuesta positiva del azúcar a la temperatura. Kliewer y Torres (101), utilizando diferentes temperaturas diurnas y nocturnas, observaron escaso efecto de las mismas sobre los sólidos solubles. Diversos estudios demuestran que en la acumulación de azúcar influyen más las temperaturas en las dos primeras etapas de desarrollo de la uva (Etapas I y II), y que en la fase final de crecimiento de la uva

(Etapa III) la temperatura tiene poco efecto sobre el nivel final de azúcar (3, 32, 66). Hofcker *et al.* (69), por el contrario, hallaron que el azúcar estaba más relacionado con las temperaturas en la Etapa III.

A pesar de que las temperaturas cálidas suelen acelerar el crecimiento y la maduración, existe un límite superior por encima del cual se reduce la asimilación. Alleweld *et al.* (4.) descubrieron que la ratio neta óptima de asimilación a través de la fotosíntesis era 25° C, y el trabajo de Kliewer (93) sugiere que la fotosíntesis es eficiente entre un 90% y un 100% entre 18° C y 33° C, pero disminuye considerablemente cuando las temperaturas se sitúan por encima o por debajo de estos umbrales. Las temperaturas de 4° C durante cuatro días en la Etapa I retrasaron la maduración y re-

Tabla 2 (cont.)

Parámetro	Nivel baya	Mesoclima	Condiciones del Suelo	Gestión de dosel (en el envero)	Carga de cosecha (nivel)
	Bajo	Temperaturas nocturnas inferiores a 15° C en Etapa III, corriente en latitudes por encima de 45° (principalmente zonas Alfa)		Dosel expuesto: capa de hojas a una media de 1.0-1.5	Carga de cosecha alta; más de 5 kg de rendimiento/kg peso de poda
Fenoles/ Antocianos	Alto	Etapa III: temperaturas nocturnas 5° C-15° C; temperatura media mínima y máxima diaria de 9° C-29° C (principalmente zonas Alfa), o alta insolación	Etapa III: déficit de humedad del suelo; o N en el peciolo 2.0%-2.5%	Racimos expuestos: exposición del racimo superior al 60%; más de 5000 cepas/ha para doseles no divididos; o doseles divididos.	Carga de cosecha moderada: menos de 8kg de rendimiento//kg de peso de poda
	Bajo	Etapa III: temperaturas nocturnas superiores a 15° C; media de las temperaturas mínima y máximas diarias superior a 20° C, o nublado	Etapa III: exceso de humedad del suelo; o N en el peciolo superior a 2.5%; o K alto en el mosto.	Racimos sombreados: exposición del racimo inferior a 40%; doseles no divididos y menos de 5000 cepas/ha.	Carga de cosecha alta: 5-10 kg de rendimiento//kg de peso de poda
Sabor/ Aroma	Alto	Etapa III: temperaturas nocturnas 5° C-15° C; o media de temperaturas diurnas mínimas y máximas entre 9° C-20° C (principalmente zonas Alfa)	Etapa III: déficit de humedad del suelo	Dosel expuesto: capa de hojas en promedio por debajo de 3 en dosel vertical no dividido.	Carga de cosecha moderada: menos de 8kg de rendimiento//kg de peso de poda
	Bajo	Etapa III: temperaturas nocturnas superiores a 15° C, o media de temperaturas mínimas y máximas diurnas superior a 20° C (principalmente zonas Beta)	Etapa III: N en el peciolo superior al 2.5% o exceso de humedad del suelo	Dosel sombreado: capa de hojas en promedio por debajo de 3 en dosel no dividido spu/cordón	Carga de cosecha baja o alta: menor de 5 o más de 50kg de rendimiento//kg de peso de poda
Carácter herbáceo	Alto		Exceso de humedad del suelo	Dosel sombreado: capa de hojas en promedio por encima de 3 m; o exposición del racimo inferior al 40%; sarmientos sin despuntar	

dujeron los SS en las uvas de sultana y de napa gamay. (126). El estrés térmico redujo considerablemente la conductancia estomática y el contenido en glucosa de la uva (162).

(ii) Efecto sobre el ácido y pH: La maduración de la uva se asocia con un aumento del pH del mosto y una disminución de los niveles de ácidos. El ritmo de disminución del ácido málico depende las temperaturas durante el crecimiento en la Etapa III (3, 32, 66, 96). Pero las temperaturas más altas durante las Etapas I y II se correlacionan con una mayor cantidad de ácido libre (málico) en sylvaner (91). En las zonas más cálidas de los climas fríos, el nivel de ácido puede alcanzarse máximo en el envero, pero posteriormente disminuye antes y más rápidamente. (17).

Una característica de las zonas más frías es que las fluctuaciones de las temperaturas diarias son muy importantes a finales de verano y hasta el periodo de maduración otoñal. A veces, se ha destacado ese hecho como una importante contribución a la calidad (179). En una tentativa de cuantificar las diferencias, Kliewer (93) cultivó viñas a temperaturas diurnas y nocturnas controladas. Las noches más frescas combinadas con temperaturas cálidas durante el día permitieron una reducción del pH y un incremento de los niveles de ácido en comparación con los días cálidos y las noches cálidas; había una mayor proporción de ácido málico sobre los ácidos totales. Para retener más tiempo el ácido y reducir el pH, las diferencias de temperatura entre el día y la noche tenían que ser mayores si la temperatura diurna era más alta. Esto sugería

que la menor calidad asociada a los climas cálidos, se debe al menos en parte, a que el ácido es bajo y el pH es alto, y estos experimentos sugieren la selección de mesoclimas con bajas temperaturas nocturnas, como lugares al nivel del mar, que pueden mejorar (siendo iguales los demás aspectos) parte del problema.

(iii) Efecto sobre los componentes del sabor y del aroma: La experiencia de que los climas cálidos producen menos componentes del sabor y del aroma resulta difícil de cuantificar por las razones antes mencionadas. Los experimentos de Becker (18), en los que se cultivaba pinot gris en contenedores en lugares cálidos y fríos sí dieron un resultado potencialmente reproducible que indica un efecto positivo sobre la calidad de un mesoclima cálido en un macroclima frío. Que los autores sepan, no se ha realizado el experimento inverso, p.e.: la selección de un mesoclima frío en un clima cálido utilizando viñas cultivadas en contenedores, pero habrá que hacerlo sin duda alguna. Los resultados de Becker sugieren que algunas de las diferencias en la calidad se debieron a componentes del sabor y del aroma. Comparando un viñedo frío y un viñedo cálido (en el sur de Australia), Ewart (53) descubrió que en el primero el total de terpenos volátiles aumentaba más despacio pero al final se hallaban concentraciones más altas. Las puntuaciones fueron mayores para los vinos elaborados a partir de uvas cultivadas en el lugar frío. Es claramente necesario seguir trabajando en este campo importante y difícil. No obstante, algunos componentes, p.e., metoxipirazinas, podrían

alcanzar niveles indeseablemente superiores en climas más fríos, especialmente en condiciones de más sombra. Recientemente, Eric y Ángel (68) descubrieron que el contenido de fenoles de los vinos de riesling procedentes de Alsacia era de 13mg/L solamente, mientras que en los del este del Estado de Washington y California era de 123mg/L. Según los autores, algunos climas cálidos producen vinos más “ásperos”, lo cual se puede deber al contenido fenólico.

(iv) Efecto sobre el color: El color en las uvas tintas depende en parte de la temperatura. Las pruebas sugieren que las temperaturas demasiado frías o demasiado cálidas se asocian con un color flojo (205). El rango de temperatura óptima para la síntesis de la antocianina parece oscilar entre 17° C y 26° C (144). Utilizando temperaturas controladas, Kliewer (93) y Kliewer y Torres (101) investigaron el efecto de las temperaturas diurnas y nocturnas. Con unas temperaturas diurnas de 30° C en Cardinal y 35° C en Tokay, no se produjo coloración alguna, con independencia de las temperaturas nocturnas utilizadas. Por lo general, en cuatro variedades, entre ellos pinot noir y cabernet sauvignon, las temperaturas nocturnas frías de entre 15° C y 20° C fomentaban una buena coloración de los hollejos en comparación con el rango de temperaturas de 25° C a 30° C. El efecto de las temperaturas diurnas no era nulo, pero era menor que el de las temperaturas nocturnas. No obstante, unas temperaturas diurnas bajas, de 20° C, en vez de 30° C, mejoraban el color del pinot noir.

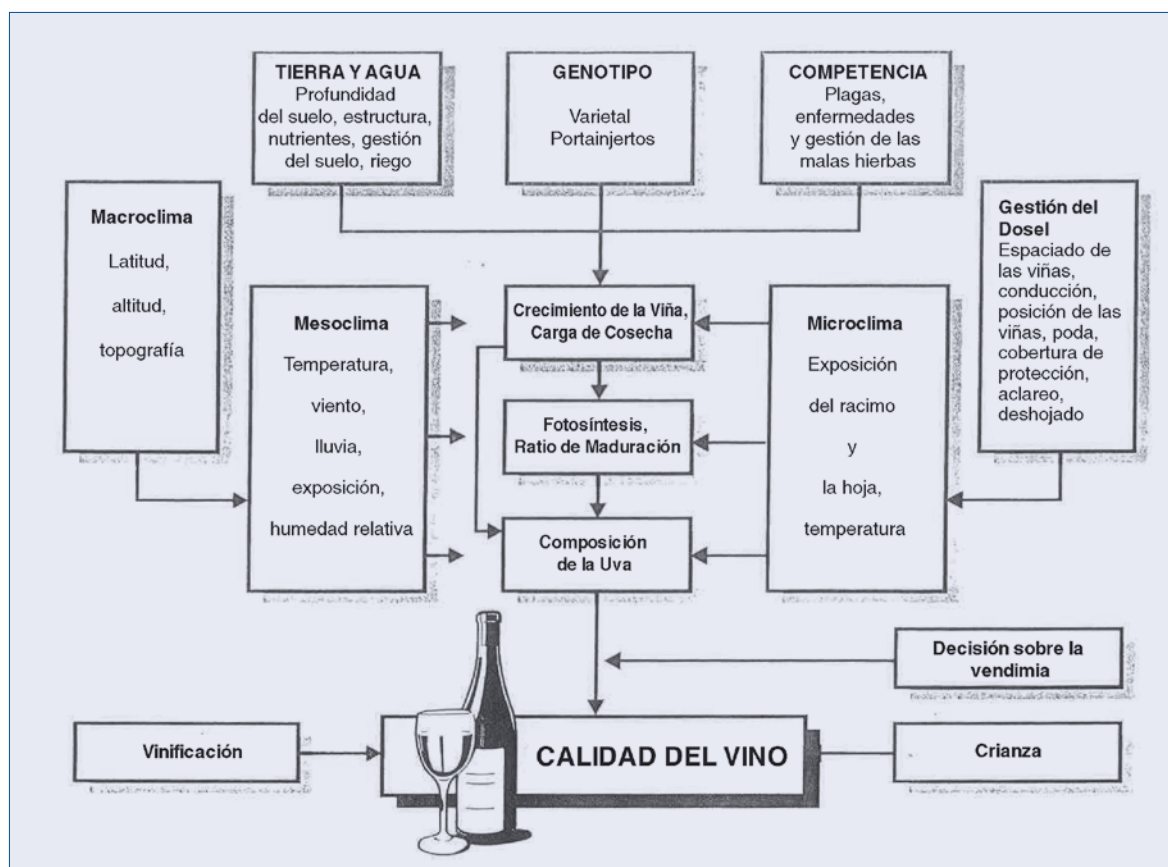
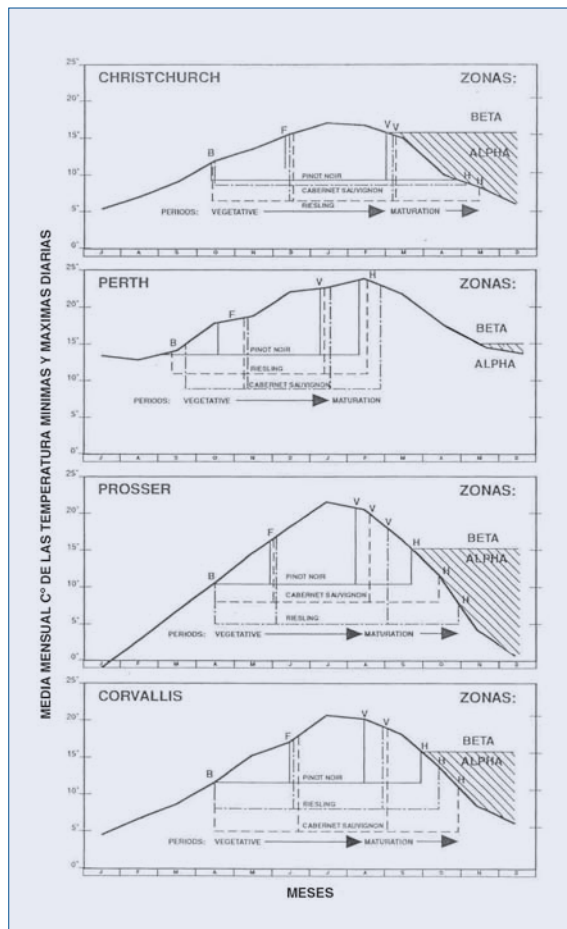


Figura 1
La maduración de la uva de los tres varietales en relación con las zonas Alpha y Beta en Christchurch, Nueva Zelanda; Perth, Australia; y Posser, Washington y Corvallis, Oregón, Estados Unidos.



(v) Zonas Alpha y Beta: En muchas zonas vitícolas europeas, se eligen los varietales de manera que la maduración de las uvas se produzca justo antes de que bajen las temperaturas diurnas medias mensuales a 10° C (78). No obstante, en climas más cálidos, la duración de la temporada es más que adecuada para que maduren la mayoría de las uvas, que por consiguiente maduran durante la parte cálida de la temporada (ver Fig. 1).

Al considerar el efecto del clima, y especialmente de la temperatura, sobre las uvas, parece que habría que considerar ambas situaciones por separado. En el primer caso, la maduración final de la uva tiene lugar en otoño, cuando las temperaturas diurnas serán moderadas y las noches frías. Se ha propuesto denominar dicho clima "Zonas Alpha" (77). En las zonas Alpha, las temporadas cálidas y los mesoclimas cálidos constituyen una ventaja. El mayor contenido de azúcares proporciona cuerpo al vino, pero las noches aún suficientemente frías aseguran un color adecuado y un pH y unos niveles de ácido apropiados. Los componentes del sabor y aroma son óptimos en estas condiciones (ver más arriba).

En las "zonas Beta" la mayor parte de las uvas cultivadas madura bastante antes de que las temperaturas caigan por debajo de 10° C. De ese modo, los días y las noches aún son cálidos, y no hay dificultad en alcanzar la maduración. En las zonas Beta, las temperaturas cálidas y los mesoclimas no ofrecen ninguna ventaja obvia, y cualquier tratamiento que acelere la maduración no tiene por qué considerarse necesariamente una ventaja. Muchas zonas beta cultivan una gama de uvas con temporadas de cultivo cortas, medianas o largas. El chardonnay, una uva de maduración temprana que se cultiva en una zona tan septentrional como Champagne (Alpha), también se cultiva en el Napa Valley (Beta). La composición de la uva diferirá considerablemente pero en ambos casos, el mosto elaborado es de gran calidad.

Sugerimos que se defina una zona Alpha como aquella donde la temperatura media diaria en el momento de la maduración de un varietal determinado oscila entre 9° C y 15° C: Una zona Beta tiene una temperatura media de 16° C o superior. La clasificación de las distintas zonas vitícolas según este sistema es la siguiente (los ejemplos se ilustran en la Fig. 1):

Zonas Alpha: Estas tienen temperaturas medias en el momento de la maduración de varietales específicos de entre 9° C y 15° C; se dan, por ejemplo, con pinot noir en: Burdeos, Alsacia, y Champagne en Francia; Baden en Alemania; Marlborough y Canterbury en Nueva Zelanda; Adelaida Hills y Yarra Valley en Australia; Carneros Valley en California; y Willamette Valley en Oregón. Para cabernet sauvignon: Burdeos en Francia; Coonawarra en Australia; Hawkes Bay en Nueva Zelanda; Napa Valley en California; Yakima Valley en el Estado de Washington. Riesling –Alsacia en Francia; Rheingau en Alemania; Canterbury en Nueva Zelanda; Santa Cruz y Monterrey en California; Yakima Valley en el Estado en Washington; Willamette Valley en Oregón. Para los varietales de maduración temprana: Alemania, Austria, Suiza, Francia-Burdeos, Burdeos y zonas más septentrionales, Canadá, el oeste de Washington y Oregón, Nueva Zelanda, la costa norte de California, Sur de Australia y Tasmania. Para los varietales de maduración tardía: sur de Francia, España, gran parte de Italia excepto la zona muy septentrional, Hungría, Yugoslavia y otros países del sur de Europa, Argelia, Israel, Sudáfrica, gran parte de Australia continental, California, Columbia Valley en Washington y Oregón, la zona septentrional de Nueva Zelanda.

Zonas Beta: Para pinot noir, cabernet sauvignon y riesling, se dan temperaturas medias durante la maduración iguales o superiores a 16°, en el sur de Francia, España, gran parte de Italia excepto el norte, Hungría, Yugoslavia y otros países del sur de Europa, Argelia, Israel, Sudáfrica, Barossa Valley, Hunter Valley y Suroeste de Australia, Central Valley de California, Columbia Valley en Washington y Oregón, y Auckland en Nueva Zelanda.

Este tipo de clasificación puede requerir una ligera modificación si se consideran diferentes varietales. Por ejemplo, Burdeos se puede considerar zona Alpha para las uvas que normalmente se cultivan allí; pero si se cultivasen uvas de una maduración más temprana, como reichensteiner o müller thurgau, posiblemente se podría clasificar correctamente como zona Beta.

La elección de la temperatura divisoria entre ambas zonas puede ser discutible, pero al margen de estas reservas, el valor de la clasificación consiste en que podemos predecir razonablemente las áreas donde es más probable que se produzca una correlación positiva entre los niveles de SS y la calidad del vino. Como veremos más adelante cuando consideremos el rendimiento y la calidad, también parece más probable que se dé una correlación negativa en las zonas Alpha que en las Beta.

II.4.2.2. Precipitaciones y riego:

La mayoría de los vinos de calidad se producen en zonas con precipitaciones anuales inferiores a 700 o 800 mm (80) y los indicios sugieren que unas precipitaciones abundantes y un riego excesivo reducen la calidad. Esto se debe a varias razones.

La lluvia, sobre todo después del invierno, asociada además a la humedad, favorece la ruptura de las uvas, la botrytis y otras enfermedades micóticas. Una baya enferma plantea al viticultor dificultades que pueden resultar en una menor calidad, pero además, la lluvia o la amenaza de lluvia puede inducir a los viticultores a vendimiar más temprano y que las uvas estén verdes en el momento de la elaboración.

Existen pruebas de que las precipitaciones abundantes retrasan el proceso de maduración. Los ratios de crecimiento y desarrollo de las uvas tienen una correlación negativa con las precipitaciones durante las Etapas I, II y III, y salvo la Etapa III, este efecto es mayor que el de la correlación positiva con la temperatura (3, 70).

En un estudio sobre la utilización de índices climáticos para predecir la idoneidad de una zona para la viticultura, Jackson y Cherry (79) descubrieron que las zonas con precipitaciones abundantes tenían una capacidad de maduración menor de lo que permitían pronosticar los índices de temperatura. El regadío, como se verá más adelante, puede tener efectos similares. Una maduración tardía por lluvia o regadío, en especial en las zonas Alpha, puede por tanto impedir que las uvas alcancen una maduración total antes del invierno y por lo tanto reducir la calidad potencial del vino.

No siempre se ha observado que el estrés hídrico mejore la maduración. Matthews y Anderson (124) demostraron que, pese a que el estrés puede incrementar los fenoles en el mosto y los hollejos y los antocianos en los hollejos, reducir el malato e in-

crementar la prolina, no tuvo ningún efecto sobre el comienzo del invierno ni sobre la duración de la maduración. Utilizando plantas cultivadas en macetas, Ussahatanonta (comunicación personal, 1991) descubrió que la alternancia entre estrés y régimen idóneo tres veces por semana adelantaba la maduración, y que el estrés hídrico permanente la retrasaba. También demostró que la amplitud de las variaciones de composición de las uvas debidas al estrés hídrico eran mucho menores que los cambios del crecimiento vegetativo y el rendimiento, resultado que viene a confirmar los resultados de campo en Australia (190).

La disponibilidad de agua puede tener efectos distintos sobre la calidad que sobre la maduración. Al revisar los efectos del regadío, Smart y Coombe (176) observaron que un riego excesivo frena la maduración, incrementa el rendimiento en parte debido al mayor tamaño de la uva, eleva el pH y el contenido ácido del mosto, y reduce los antocianos porque se produce mayor sombra, debido a un crecimiento excesivo de la viña. En cambio, el estrés hídrico mejora la maduración temprana pero reduce el rendimiento, el peso de la uva y el ácido málico debido a una exposición excesiva.

Estudios más recientes tienden a confirmar estos efectos y añaden algunos más. Se ha confirmado un incremento del rendimiento tras el riego (67.134.188). La maduración más lenta que a menudo sucede al riego, puede, sin embargo no inducir menores niveles de azúcar. Normalmente, el exceso de riego reduce el azúcar, pero un riego moderado, en especial en años, lo incrementará (24.132). No todos los informes indican una maduración más tardía con el riego; el estrés hídrico moderado antes o después del invierno no alteró la ratio de maduración y tuvo poco efectos sobre los SS, el pH o la TA (124).

Aunque la cantidad de estrés hídrico puede ser importante, también parece serlo el momento en que se produce. En invernadero, en condiciones controladas, una cantidad de agua abundante al comienzo del experimento incrementaba el rendimiento y rebajaba el azúcar; si se aplicaba hacia el final de la evolución de la uva, no afectaba al rendimiento pero incrementaba el azúcar (5). Becker y Zimmerman (21) también confirmaron un incremento del rendimiento y menores niveles de azúcar en la maduración debido a la aplicación de un grado de humedad adecuado antes del invierno. En ambos tipos de experimentos en macetas se utilizó el varietal müller-thurgau, pero las diferencias de varietal pueden ser importantes en dichos resultados. El riesling era mucho menos sensible a unas condiciones de sequía que el müller-thurgau.

El müller-thurgau, cultivado en macetas y en condiciones secas (déficit de humedad del suelo) desde el invierno hasta la vendimia, produjo un vino considera-

do "afrutado, aromático, y elegante"; las viñas humedecidas (suelo adecuado de humedad) durante este periodo dieron vinos de "cuerpo rotundo y menos elegantes". Los vinos preferidos eran los procedentes de viñas humedecidas hasta el envero y secas después de éstos, y los menos preferidos eran los secos hasta el envero y humedecidos después (21). Bravdo y Hepner (26) concluyeron que el control de vigor a través de una gestión del riego en los climas secos, puede conseguir el estado más deseable de crecimiento rápido en primavera, seguido de una disminución entre el envero y la maduración.

Por lo tanto parecen existir pruebas sólidas de que la disponibilidad de agua puede influir en la calidad del vino. Desde luego, en una revisión de los factores importantes para la calidad, Seguin (160) destaca el papel del agua, pero concluye afirmando que su insuficiencia puede ser tan mala como su exceso.

Se han puesto de manifiesto factores adicionales que contribuyen a la calidad. La disponibilidad creciente de agua a menudo induce un incremento del contenido de potasio y del pH en el mosto y en el vino (58, 67), y puede reducir el color (148) y el contenido de antocianos (30, 57, 124, 132). Un riego abundante aportó a los vinos semillon un sabor "pastoso" que se podría reducir mediante un deshojado alrededor de los racimos (195). McCarthy y Coomble (120) y McCarthy *et al.* (119) investigaron el efecto del riego sobre el sabor y aroma del mosto percibido en un panel de cata en un clima cálido, Australia. Las puntuaciones más altas fueron las de un tratamiento sin riego, que también producía el mayor nivel de terpenos volátiles potenciales. Asimismo, los déficits hídricos en cabernet sauvignon incrementaron la concentración fenólica del mosto y extrajo fenoles y antocianos de los hollejos, mientras que los déficits tempranos disminuían el malato pero incrementaban el contenido de prolina en el mosto del cabernet franc (125).

Algunos de estos efectos pueden ser secundarios y obedecer a una mayor sombra, tema que consideraremos más adelante (5C).

II.4.2.3. Intensidad de la luz y cobertura nubosa nublado:

La cantidad de radiación fotosintéticamente activa (PAR) recibida por las uvas alcanza hasta 2500 Em²s⁻¹ con cielos claros y entre 300 y 1000 con cielos nublados. Una PAR de 700 Em²s⁻¹ es óptima para la fotosíntesis, y el punto de compensación de la luz por debajo del cual la hoja consume tantos carbohidratos produce se sitúa entre 15 y 30 (169). Un cielo nublado puede limitar la exposición a la luz tanto como para reducir la fotosíntesis neta y la composición de la uva (92). La contaminación del aire tiende a rebajar la intensidad de la luz, que también se vuelve más difusa. Sin embargo no ha sido demostrado que la

reducción de la luz debida a un humo denso reduzca el contenido de sólidos solubles y de ácidos de las bayas (201). Por lo general la intensidad de la luz aumenta a medida que baja la latitud, pese a que la duración del día en verano es mayor en las latitudes más altas.

La mayoría de las investigaciones sobre los efectos de la luz en la calidad realizadas hasta ahora se han concentrado en la luz bajo el dosel, p. e. los efectos microclimáticos, sobre los cuales el ser humano tiene un mayor control (véase el apartado 5C). Se han estudiado menos los efectos generales (macroclimáticos) de la luz, pero cabe esperar las consecuencias siguientes. Una mayor radiación, ya sea por intensidad o duración, incrementará el rendimiento y/o los SS. Una radiación mayor también incrementará la temperatura, en especial de las hojas expuestas y las uvas, induciendo un incremento de la fotosíntesis y de la actividad metabólica. Según N. Becker (comunicación personal), la intensidad de la luz durante la fase de maduración es adecuada en los climas fríos, pero la temperatura de la hoja es desfavorable para el metabolismo y la redistribución de los solutos.

II.4.2.4. Viento:

El viento puede romper los sarmientos y reducir su crecimiento, así como el tamaño de la hoja, y la densidad estomática (193). Los vientos fuertes pueden producir un efecto de enfriamiento, además de reducir la conductancia estomática y los ratios de transpiración (108). El efecto general del viento puede pues provocar una disminución de la fotosíntesis y consecuentemente, de los niveles de SS. Los pH altos son un problema conocido en Salinas Valley en California, Freeman y Kliewer (58) han sugerido que esto se debe a los fuertes vientos imperantes y, más concretamente, a su efecto de reducción de la conductancia estomática. Kliewer y Gates (98) descubrieron que las viñas resguardadas del viento eran más vigorosas y daban mayores rendimientos que las que no estaban protegidas, que tenían menor pH y menores niveles de K, pero no se apreció efecto sobre los SS y la AT. Las viñas protegidas solían presentar más podredumbre de los racimos.

II.4.2.5. Creación de mesoclimas:

Un mesoclima es una modificación del clima (macro-) normal de una zona debido características geográficas locales o a estructuras creadas por el ser humano, como los setos de protección. El uso de mesoclimas para uvas es tan viejo como la propia historia. En climas fríos como los de Alemania, Suiza, y Austria, habitualmente los viticultores han mejorado las condiciones escogiendo los mesoclimas creados por las pendientes de cara al sol. El hecho de que muchas de estas pendientes produzcan algunos de los mejores vinos del mundo (84), sugiere que han creado las con-

diciones ideales; y aunque se haya discutido cuáles son esas condiciones y cómo actúan, no siempre se ha demostrado de forma convincente. No obstante, puede que contribuyan a los siguientes aspectos (17, 18, 19): (1) menor incidencia de las heladas al final de la primavera y a principios de otoño; (2) temperaturas más cálidas en general y mayor acumulación de calor; (3) los suelos no permanecen húmedos durante largos periodos, especialmente en primavera; (4) la combinación de (1), (2) y (3) para producir una temporada más larga, pero no necesariamente demasiado cálida; (5) más movimiento del aire que no sólo contribuye a (1) sino que además puede reducir la incidencia de enfermedades.

En una tentativa de examinar a fondo los efectos, se ha realizado un estudio sobre uvas (pinot noir) cultivadas en contenedores y situadas en zonas de llanura, en pendientes y en una meseta (400m sobre el nivel del mar) (17). Las maduraciones en la primera y última de estas zonas quedaron limitadas por la duración la temporada, debido a un mayor riesgo de heladas en la llanura y a temporadas más frías en altitudes superiores a los 300 m. El crecimiento comenzaba antes en las pendientes más cálidas, además las uvas alcanzaron antes el máximo ° Oechsle y el mínimo de AT. Los vinos procedentes de las viñas cultivadas en macetas situadas en pendientes fueron los mejor puntuados. Fue difícil determinar qué parámetros afectaron a la maduración y a la calidad del vino, a pesar de que la temperatura del aire parecía ser el factor más importante. Eahl (196) ha correlacionado mediciones climáticas y de suelo en el interior de una pequeña región de Franconia con las etapas fenológicas de müller thurgau, con objeto de delimitar diversos factores que afectan a la calidad. Descubrió que la velocidad del viento, la temperatura del suelo y la humedad eran más importantes que la temperatura del aire o las horas de sol. La importancia de la temperatura del suelo se comentará más adelante (Apartado 3B).

Estos resultados demuestran claramente la existencia de un efecto real del mesoclima en la composición de la uva. No obstante, probablemente se alcanzará una mayor comprensión cuando se hayan investigado más a fondo ciertos aspectos específicos del clima y suelo, permitiendo utilizar una síntesis significativa para una evaluación completa de los efectos meso y microclimáticos. En la Apartado 5C se incluye un comentario debate sobre los microclimas.

II.4.3. Efectos del suelo sobre la calidad

Los posibles efectos del suelo en la composición de las uvas y la calidad del vino probablemente sean más difíciles de evaluar que los efectos de los mesoclimas. El suelo podría: (1) afectar al suministro de humedad a la planta en función de su propia capacidad de retención de la humedad, (2) afectar a la disponibilidad de

nutrientes, (3) afectar al microclima por su capacidad de retención del calor y de reflexión de la luz, y (4) afectar al crecimiento de la raíz debido a su penetrabilidad.

Que el suelo puede afectar a la composición de la uva es una creencia muy común. En un libro de texto sobre viticultura en inglés (205), se decía lo siguiente: "Por supuesto la cosecha será mayor en suelos muy fértiles, pero la uva tendrá una textura áspera, con una composición menos equilibrada y su carácter general será menos agradable. Los suelos menos fértiles son especialmente adecuados para las uvas de mesa finas y para los variedades de vino de mesa de primera calidad." Estas declaraciones y otras parecidas normalmente se basan en observaciones comparativas de vinos elaborados en distintos lugares. La ausencia de datos más precisos no desmiente esas creencias, pero se tiende a indicar la dificultad de determinar las diversas contribuciones de los suelos mencionados más arriba y sus permutaciones y combinaciones.

En un manual de texto sobre fisiología del vino, Champagnol (39) dice que los expertos pueden distinguir los vinos de una región simplemente por el contenido mineral característico del suelo. Admite que el método es demasiado sutil y complejo como para ser replicado por análisis químico, y que se sabe poco sobre la función de cada mineral individual. A pesar de ello, en un estudio realizado recientemente en Alemania (196) compararon la calidad del vino procedente de müller-thurgau y sylvane de viñas cultivadas en grandes macetas en diversos suelos y concluyeron que era difícil diferenciar los vinos procedentes de los distintos suelos a través de una evaluación sensorial. Este enfoque tiene ventajas obvias para minimizar los efectos de las interacciones microclimáticas. Sin embargo, un resultado negativo o ambiguo no descarta posibles influencias debidas a la profundidad del suelo o a su penetrabilidad para las raíces. Efectivamente, en Ranking *et al.* (148) se hace hincapié en estos factores, y el estudio concluye que el suelo es menos importante que el clima o el varietal; pero por lo que se refiere a los suelos, las características importantes son la profundidad, la capacidad de retención de agua, y el drenaje, más que su composición. Su evidencia concreta indicaba que la composición del suelo podía influir en el contenido mineral de la uva, pero no en el aroma del vino ni en su sabor. Estudios recientes con viñas cultivadas en macetas de arena y nutrientes (Ussahatanonta, comunicación personal) de mostraron que un espacio reducido para la raíz sin limitación de agua o nutrientes podía modificar la composición de las uvas.

El resto de esta apartado examina algunos de los datos reseñados, como por ejemplo la disponibilidad de nutrientes, la cual puede influir en el efecto del suelo en la composición de la uva y en la calidad del vino.

II.4.3.1. Nutrición:

Una alta nutrición, junto con una humedad y una temperatura adecuadas, por lo general acrecentarán el vigor de los sarmientos y, en la mayoría de los casos, inducirán una menor calidad del vino. Champagnol (39) dice que se debe a los efectos sobre los compuestos fenólicos y aromáticos. El vigor puede elevar el pH hasta niveles inaceptables a temperaturas templadas (76) o puede afectar indirectamente a la calidad debido a los efectos sobre el microclima de la viña. (ver Apartado 5C).

- (i) **Nitrógeno:** El nitrógeno es el elemento que más se puede asociar a un gran vigor capaz de alterar el ratio hoja: bayas, aumentar la humedad, y reducir la penetración de la luz solar hasta las hojas y uvas interiores. De ese modo, aunque se comunican diversas reacciones a la aplicación de nitrógeno, normalmente no se puede determinar si tienen o no causas directas o indirectas.

Las viñas cultivadas con altos niveles de nitrógeno tuvieron un mayor crecimiento vegetativo, más nitrógeno en los pecíolos, más acidez, y más antocianos en los hollejos; no hubo efecto sobre la madurez de las bayas y el pH del mosto (55). En cabernet sauvignon (27) y chenin blanco (42), la fertilización con nitrógeno tuvo escaso efecto sobre la calidad del vino. Delas y Pouget (50), no obstante, descubrieron que los altos niveles de nitrógeno redujeron los sólidos solubles y el color del mosto. Una investigación de la fertilización de N, P, y K de uvas Foch en la Columbia Británica demostró que el N (y en menor medida el P) incrementaron el rendimiento (137). A veces (con K) incrementó el pH pero no afectó a los SS ni a la AT. Uceta y Yavar (195), investigando los resultados del riego y la fertilización con N de semillon, descubrieron que ambos conferían al vino un sabor más herbáceo que se podía reducir deshojando alrededor de la zona de fructificación. Los altos niveles de N indujeron a un alto nivel de arginina en el mosto, que a su vez se relacionó con la presencia indeseada de etil carbamato químico en los vinos criados durante un período de 10 años. (142)

También hay evidencias que sugieren que el N puede afectar a la calidad al incrementar la podredumbre, lo cual no necesariamente se debe a la sombra o a una mayor humedad. En ensayos en maceta en los que presumiblemente se minimizó la sombra, Gysi (64) informó que un alto nivel de N incrementó el crecimiento de la viña y los rendimientos y redujo la calidad debido a una mayor podredumbre de los sarmientos y bayas. Otros informes han asociado la fertilización de N con un incremento de la podredumbre (14, 42). Ribéreau-Gayon (154) ha sugerido que el lento desarrollo de la botrytis en el Sauternes se debe al bajo contenido de nitrógeno de los mostos de esta zona. Champagnol (38) también concluye que debe

existir alguna relación entre el nivel de nitrógeno y la velocidad de desarrollo de la Botrytis cinerea o 'podredumbre gris'.

Aunque la evidencia no permite precisar la índole exacta de la respuesta al nitrógeno, se puede decir que los viticultores deben estar prevenidos contra un uso excesivo.

- (ii) **Potasio:** Se ha asociado el potasio con la composición de la uva y la calidad del vino, y su presencia está relacionada con los ácidos y pH. Los mostos que contienen altos niveles de K también tienden a tener un pH alto y un alto nivel de ácido málico, aunque durante la vinificación el ácido málico puede disminuir y el pH puede subir aún más. Por lo general, el contenido de K no afecta a los tartratos (65). Los altos niveles de K en el mosto se han relacionado no sólo con un alto pH, sino también con un color flojo en los vinos tintos. (187). Aunque las altas concentraciones de K en el suelo están relacionados con sus niveles en diversas partes de la planta, en especial en el pecíolo de la hoja, el efecto del K del suelo sobre sus niveles en el mosto es a menudo bastante reducido (52, 133, 148) a no ser que se apliquen cantidades excesivas de potasio (39).

Existen pruebas que el efecto de la sombra del dosel también puede afectar al nivel de K en el mosto, y lo estudiaremos más adelante (Apartado 5C).

Se acepta que los suelos pueden influir en la composición del mosto, sobre todo cuando existe déficit o exceso de agua en el suelo (57), N, y K. Sería prudente pues controlar estos elementos en función de la respuesta de la viña, por ejemplo mediante el análisis del crecimiento y de los tejidos. El crecimiento excesivo de la viña se puede controlar mediante la gestión de dosel (Apartado 5B), la reducción de la cantidad de fertilizante aplicada, y las modificaciones de la tierra como por ejemplo el enyerbado. El contenido de potasio del mosto no es fácil de alterar, pero si las viñas realmente tienen grandes problemas de pH, se puede hacer uso mínimo de fertilizante de K.

II.4.3.2. Terruño:

El término francés "terroir" (terruño) describe la atmósfera creada por el suelo y su entorno inmediato. Se ha observado que los factores topográficos, geográficos, morfológicos y agro-pedológicos influyen en la calidad y pueden fijar los límites de las denominaciones de origen reconocidas por producir los mejores vinos (161). Aunque no se conozca la contribución exacta de cada factor, la experiencia indica que un buen terruño facilitará una maduración lenta pero adecuada de variedades adecuadas. Además, contribuirán a mantener cierta regularidad en la composición del mosto de añada en añada, cosa imposible de conseguir en



malos terruños situados en una misma zona climática (155). Un buen terruño limita los extremos climáticos que pueden producirse de un año a otro. Debe tener las propiedades siguientes (161): (1) fertilidad adecuada, pero no excesiva, especialmente con respecto al nitrógeno; (2) la capacidad de mejorar el efecto de la lluvia intensa, sobre todo después del invierno –como lo permite un suelo profundo con drenaje libre, y donde la gran profundidad de la raíz previene de una deshidratación excesiva, o incluso un suelo pesado y arcilloso que sólo absorbe el agua lentamente tras una fuerte lluvia y donde el exceso de agua escurrirá; y (3) la capacidad de sobrevivir a la sequía en años muy secos, que puede depender del crecimiento de la raíz en profundidad, de una buena capacidad de retención de la humedad, o de una presencia adecuada de aguas subterráneas.

Investigaciones recientes realizadas en el Valle del Loira en Francia, han intentado relacionar los terruños con la calidad del vino (130). Utilizando cabernet franc sobre SO_4 , se demostró que las variaciones en el suelo produjeron efectos notorios en la calidad del vino. Los tipos de suelo que produjeron el mejor vino lo hicieron así en tres ubicaciones distintas, (p.e., Denominaciones: Saumur-Champigny, Chinon, y Bournois). Una característica clave de los buenos terruños fue la buena penetración de la raíz hasta capas de tierra más profundas, y la adecuada explotación de la tierra de la superficie por las raíces pequeñas. Los terruños pobres pueden tener o no una buena explotación de la capa superficial, pero en todo caso había poco desarrollo de la raíz en profundidad. Las cepas se secaron rápidamente, algunas veces poco después del brote inicial del sarmiento. En el Loira, zona Alfa, los buenos terruños están relacionados con la precocidad, que permite una buena maduración de la baya en otoño. La precocidad no se pudo relacionar con la temperatura del aire en los terruños estudiados, pero sí se relacionó de forma significativa con la temperatura del suelo en la capa con las raíces más activas.

A pesar de su complejidad, el concepto de terruño resulta valioso. Al reduccionista le podría resultar difícil apreciar su valor para el análisis científico, pero el hecho de que las denominaciones de origen hayan mantenido su categoría durante muchos años en las regiones francesas sugiere que el efecto es real. Demostraciones recientes están facilitando indicadores importantes de la forma en que el terruño puede influir en la calidad del vino.

II.4.3.3. Densidad de la planta:

En regiones europeas que producen vinos de afamada calidad, son comunes los marcos de plantación densos, a menudo, 1 m x 1 m o incluso menos. Se dice que ese marco de plantación favorece una mayor extensión del follaje sobre una superficie determinada

y permite que las viñas exploten más eficazmente el volumen de suelo disponible.

Champagnol (39) cree que una alta densidad de cepas (necesariamente) pequeñas es la mejor manera de controlar la congestión de un viñedo y de producir vino de calidad. Estos conceptos están tan arraigados en la viticultura francesa, que existen regulaciones estrictas que controlan el marco de plantación que hay que utilizar en las regiones con denominación de origen. Sin embargo, ese planteamiento no goza de apoyo unánime. Carbonneau (33) ha desarrollado un dosel dividido- la Lira- en el que un mayor espaciado de las hileras permite una adecuada distribución foliar y consigue los beneficios de una buena penetración de la luz y de calidad del vino comentados más arriba (ver 5C y 5D). En el Nuevo Mundo, Smart y sus colaboradores (173, 183) han utilizado doseles divididos para conseguir resultados similares; el Te Kauwhata a dos niveles, el Scout Henry, y el Ruakura de dos niveles gemelos son ejemplos bien difundidos.

En suelos húmedos y fértiles, las raíces aprovechan un volumen de suelo razonablemente grande; pero no es el caso en los suelos pobres, donde el marco de plantación denso es más efectivo para conseguir una densidad de raíz adecuada (39, 61). Además, cuanto más se acerca el marco de plantación al cuadrado en lugar del rectángulo, más efectivo será el aprovechamiento de los recursos por parte de la raíz. Para una densidad similar (2500 cepa/ha), el peso de la raíz por cada cepa fue de 2.5 kg en marcos de 2 m x 2 m, y de 1.4 kg en los marcos de 3.5 m x 1.14 m (69). Investigaciones realizadas en Sudáfrica demostraron que el incremento de la densidad propició un mejor uso de los nutrientes y del agua, pero indujo un mayor estrés por sequía en condiciones muy secas (8). Al principio de la temporada, las cepas plantadas cerca unas de otras gozaron de una mejor penetración de la luz, pero al final de la temporada sufrieron por el estrés hídrico (10). En el pinot noir plantado densamente (1.0 m x 0.5 m, 1.0 m x 1.0 m, y 2.0 m x 1.0 m) en contraste con cepas más espaciadas (2.0 m x 2.0 m, 3.0 m x 1.0 m, 3.0 m x 2.0 m, y 3.0 m x 3.0 m), las uvas maduraron antes, con más color en el hollejo y produjeron vinos de mayor calidad y mejor color.

Como no han prosperado todos los intentos de estructurar viñedos de gran densidad en el Nuevo Mundo, es importante considerar los criterios que determinan los parámetros del éxito. Los siguientes puntos se basan en material procedente de los tres textos franceses (25, 39, 61):

- (1) La alta densidad puede reducir el vigor de los sarmientos en suelos y climas donde normalmente el crecimiento no es excesivo. En ese caso, puede proporcionar un microclima ideal para la producción de vino de calidad.

- (2) Un marco de plantación denso en un lugar vigoroso será incapaz de controlar el crecimiento - el crecimiento excesivo resultante en plantaciones poco espaciadas creará un microclima desfavorable. En esas condiciones, lo más apropiado seguramente sea un mayor espaciamiento con doseles divididos para extender el follaje. Smart *et al.* (178) han propuesto que en estos lugares las grandes viñas tienen una capacidad intrínseca de limitar el vigor del sarmiento.
- (3) En lugares donde el estrés de humedad puede ser importante, se necesita gran espaciamiento para conservar las reservas de agua disponibles y prevenir la reducción de calidad debida a un estrés excesivo.

Al viticultor que tiene un lugar adecuado para la plantación de gran densidad afronta un dilema: seguir las prácticas tradicionales de Europa y las bases lógicas de un marco denso, o adoptar los sistemas y resultados presentados por autores como Carbonneau y Smart, y quedarse con el enfoque de marco amplio. Aún no se dispone de evidencia a toda prueba que instruya esta elección.

II.4.4. Efectos del rendimiento

La mayoría de los viñedos que producen vinos de calidad suelen tener rendimientos bajos a moderados, y a veces se piensa que los grandes rendimientos impiden alcanzar la calidad. Esta creencia es tan fuerte que muchas regiones francesas sólo aceptarán uvas para las mejores denominaciones si el rendimiento por hectárea es inferior a determinados niveles (84). No obstante, aunque muchos estudios demuestran los efectos del rendimiento sobre la composición de la uva y algunos indican que éste conlleva una menor calidad del vino (204), algunos apuntan un escaso efecto aparente a la variación del rendimiento (54, 112).

El rendimiento modifica la composición de 2 maneras: en primer lugar por los cambios intrínsecos directamente debidos al rendimiento; y en segundo lugar (e indirectamente), por el cambio de velocidad de la maduración. Dado que los grandes rendimientos retrasan la maduración (39, 204), los efectos directos no siempre resultan fáciles de evaluar, pues requieren que las uvas se vendimien con el mismo grado madurez. Aunque a veces se utiliza la obtención de niveles similares de SS para indicar una misma maduración, también pueden pesar otros factores, y ningún método tiene la aprobación universal. En las zonas Alpha, el desarrollo lento puede tener consecuencias especialmente importantes, ya que puede retrasar la maduración hasta finales del otoño cuando la temperatura es inadecuada para terminar el proceso, y la calidad merma. En las zonas Beta el retraso es menos crítico, de modo que los efectos directos sobre la composi-

ción de los frutos son menos importantes. En nuestra opinión, casi ningún estudio reconoce estos problemas, y por lo tanto no hay que creer al pie de la letra los resultados presentados más adelante.

Es obvio que, de existir un rendimiento óptimo para la calidad, es probable que éste dependa del varietal cultivado, de factores climáticos, ambientales, de la densidad de la plantación, de la gestión del dosel, de la poda, etc. Los autores de libros por lo general concluyen que los mayores niveles de SS y pH y una menor acidez son consecuencia de rendimientos bajos (39, 61, 250). Otros muchos estudios recientes confirman este hecho (114, 131, 149, 168). Dado que la primera fuente de azúcares es la fotosíntesis en las hojas, se considera que la relación superficie de la hoja/peso de las bayas es factor crítico de determinación del contenido de azúcares de la baya. El ratio por debajo del cual empieza a disminuir el nivel de azúcar suele estar comprendido entre 7 y 10 cm²/g (85, 86, 94, 102, 128, 172). El incremento del ratio por encima de ese umbral tiene mucho menos efecto sobre el nivel de SS. Así lo confirmó un estudio que demostró, para el cabernet sauvignon, que una vez que la proporción de área de la hoja/peso de la baya alcanzaba los 10cm²/g, el efecto de la carga de cosecha sobre los SS era leve; aún así los ácidos y el pH siguieron disminuyendo y aumentando respectivamente (76). Para el seyval blanc cultivado en maceta, el incremento de la proporción de hoja/baya por encima de 10 también tuvo poco efecto en ° Brix, pero el crecimiento vegetativo aumentó cuando el ratio aumentó a 15. La variación de ratio no afectó al pH ni a la AT (86).

Mientras que muchos estudios demuestran un incremento de los SS si se reducen los rendimientos, otros no observan reacciones importantes (57, 141). En vista de los resultados citados previamente en términos de proporciones de hoja/baya, cabe esperar algunas excepciones.

Algunos autores utilizan el concepto de carga de cosecha. Normalmente la carga de cosecha se define como la proporción entre el rendimiento y el ratio de peso de la poda latente (28, 29). Ésta es inversa y aproximadamente comparable a la superficie foliar por peso de la baya y es más fácil de medir (94, 102, 205). Aunque la carga de cosecha puede ser útil, conlleva sus propios riesgos que casi nunca se mencionan. Por ejemplo, el diseño del dosel puede variar el número de hojas expuestas a la luz, lo cual puede modificar el superficie foliar efectiva por unidad de peso de baya.

En un estudio sobre viñedos de bajo y alto rendimiento, Balasubrahmanyam *et al.* (13) demostró que los primeros tenían menos contenido de antocianos y componentes de aroma y sabor. Tras ajustar la carga por aclareo del racimo en cepas de shiraz sometidos



a diversos regímenes de riego en Australia, Mc Carthy *et al.* (119) descubrió que el aclareo favorecía la maduración de la uva, mientras que el riego redujo el °Brix. Los antocianos y la intensidad del color aumentaron significativamente gracias al aclareo en cepas irrigadas, mientras que se observó poca diferencia en las cepas no irrigadas. Se ha observado que los rendimientos muy pequeños, inferiores de 3 t/ha en cepas de secano mejoraron el contenido de antocianos del hollejo de la baya en Oregón (P.B. Lombard, resultados sin publicar, 1992). Sinton *et al.* (168) descubrieron que las cepas con baja carga de cosecha tenían más esteres de acetato y menos alcoholes secundarios, dando aromas más intensos. Mc Carthy *et al.* (119), incrementaron los rendimientos de riesling regulando los niveles de riego o el número de racimos, descubrieron que los terpenos volátiles potenciales (PVT) eran más abundantes en las cepas con baja carga de cosecha, tanto si se consiguió por aclareo de cepas de riego o por bajo régimen hídrico.

Se cree que el nivel de PVT también da una indicación del aroma de moscatel existente en las uvas, y obviamente aumenta después de que se alcance un °Brix suficiente para la vendimia (51, 203). El PVT del moscatel de Alejandría tuvo que alcanzar un máximo de 5 mg/L como el linalool mientras que los terpenos volátiles libres (FVT) llegaron de 1 a 2 mg/L en la vendimia. Se ha demostrado que los terpenos del muscato bianco en Italia son más altos en los vinos elaborados a partir de bajos rendimientos (47, 189). La carga de cosecha de cabernet sauvignon en Israel tuvo una interacción óptima con el contenido de ácido málico del mosto, el color del vino, la ceniza, y el ácido tartárico, pero sin embargo interaccionó negativamente con el K en la hoja, mosto y vino (30).

Bravdo *et al.* (28) descubrieron que la reducción en la carga de cosecha en cariñena de un índice de 19.6 a 12.0 mejoró la calidad del vino, pero no fue así con una reducción mayor de 4.6. Concluyeron que las cargas de cosecha inferiores a 12 mermaban la calidad del vino y de su color así como la intensidad en sólidos solubles comparables. Se constató una mejora de la calidad del aroma y de la intensidad del sabor de zinfandel cuando se redujo la carga de cosecha de 14.3 a 10 o menos (87), pero no se observó diferencia de calidad entre 7.48 y 4.24. Kliewer *et al.* (97) obtuvo resultados semejantes con cariñena. Fisher *et al.* (56) observó que se obtenía una mayor calidad de la baya cuando se reduce la carga de cosecha de las cepas de chaunac de 11.2 a 6.9 mediante el aclareo de racimos.

Aunque el rendimiento se puede ajustar regulando el número de sarmientos en la poda, también se puede conseguir con el aclareo del racimo. El momento adecuado para aclarar los racimos incidiendo en la maduración de la carga de cosecha es antes del envero (P. B. Lombard, resultados sin publicar, 1982). Wolpert

et al. (207) descubrió que en el híbrido Vidal blanc, el racimo más bajo del sarmiento era más pesado y más maduro que el segundo. Dado que en climas frescos se practica el aclareo del racimo para mejorar los niveles de azúcar (114), hay que conservar el racimo basal.

En conclusión, parece que los niveles de SS aumentan tras el aclareo hasta que se consigue un peso de baya específico, por debajo del cual el aclareo tiene escaso efecto. Posiblemente las menores cargas de bayas también incrementen el pH y disminuyan la AT, incrementen los antocianos y los componentes aromáticos como los terpenos volátiles potenciales, y mejoren la calidad percibida del vino.

Las pautas derivadas de los resultados de la investigación son obviamente valiosas, pero en última instancia cada región debería investigar, para cada varietal y sistema de conducción, el rendimiento óptimo que producirá un vino de calidad a la vez que proporciona una cosecha rentable.

II.4.5. La poda y los sistemas de conducción

La poda consiste en quitar los sarmientos y tallos leñosos en invierno y/o verano, mientras que la conducción afecta a las estructuras utilizadas para sostener la viña, los métodos utilizados para fijar la viña a dicha estructura, y la configuración y geometría resultantes de ello. El objeto principal de la poda es la regulación del volumen de vendimia para poder equilibrar la superficie foliar y la capacidad de la viña de producir una cosecha madura. Por lo general, cuantos más nudos se dejan en los tallos y ramas tras la poda invernal, más alto es el rendimiento (39, 82, 205). La poda estival se lleva a cabo para aclarar los sarmientos y/o reducir su longitud para mejorar la exposición al aire y a la luz.

II.4.5.1. Poda invernal:

Como se ha dicho más arriba, una respuesta fundamental a la poda de invierno es el efecto sobre rendimiento. Los racimos contienen un número determinado de inflorescencias en el momento de la brotación, y por ello, el rendimiento tiende a aumentar de forma directamente proporcional con número de brotes hasta que se alcanza un nivel determinado, a partir del cual la respuesta disminuye (82, 164). Esta disminución se debe a la reducción en el número de brotes que crecen (81). Algunos varietales (p.e., moscatel gordo blanco) tienen brotes basales muy fructíferos que crecerán si la poda es drástica. Dichos varietales muchas veces no responden al nivel de poda (59).

De lo antedicho se desprende que con la poda invernal, el viticultor dispone de un modo muy eficaz de regular el rendimiento. El control preciso también requiere el conocimiento de otros factores; algunos de los cuales mencionaremos enseguida, pero es deter-

minante el varietal. El varietal es más o menos fructífero en función del tamaño y del número de racimos producidos por cada brote latente. Algunos, como la gewürztraminer, no son muy fructíferos; otros, como müller-thurgau, lo son mucho más (80). En un ensayo que investigó la respuesta de rendimiento al número de nudos, Jackson *et al.* (82) mostró que las variaciones de Brix, pH, y ácidos eran mayores en los varietales más fructíferos. Por debajo de 8 kg/planta o 18.5 t/ha las diferencias no eran grandes; por encima de esta cantidad se hacían más significativas.

La viña se puede podar dejando una predominancia de tallos largos o cortos. En climas frescos, donde los rendimientos pueden ser bajos, se prefieren los tallos para reducir la proporción de brotes basales, que son menos fructíferos. No se ha confirmado la existencia de evidencia de diferencias de calidad directamente según si se podaron los tallos leñosos o las yemas más que a la cantidad final de racimos y al rendimiento. Rosner y Cook (157) y Kasimatis *et al.* (88) no hallaron diferencia de calidad del vino entre sendos métodos con cabernet sauvignon. No obstante, el color y aroma del vino pinot noir disminuyeron en las cepas desyemadas a pesar de que el rendimiento y maduración eran similares a los de las cepas en los que se podaron los tallos leñosos (P.B. Lombard, resultados sin publicar, 1992).

II.4.5.2. Conducción:

La poda ligera, que resulta muchos sarmientos concentrados en una zona limitada, produce una alta densidad de sarmientos que tiene las siguientes consecuencias indeseadas: (1) reducción de la circulación del aire y alto grado de humedad, que incrementan la posibilidad de podredumbre y por lo tanto reducen la calidad del vino, en especial en climas húmedos; (2) más sombra sobre los sarmientos y yemas en desarrollo, lo cual reduce el desborre de las yemas, con una consecuente disminución de la cosecha del año siguiente (127); y (3) mayor sombreado de las hojas y racimos más bajos que puede afectar a la composición del mosto y a la calidad del vino (ver Apartado 5C). Para evitar estas consecuencias, a menudo los viticultores han modificado los sistemas de plantación y de disposición de la viña en espalderas de modo que los nudos se distribuyan sobre una mayor superficie y los sarmientos estén menos limitados.

Como ya se ha dicho, una forma de aumentar la distribución es acerar más las hileras entre sí, una práctica muy común en muchas zonas vitícolas del norte de Europa. Otra consiste en mantener el espaciamiento existente pero dividir el dosel para obtener un efecto equivalente (24, 75, 163, 173). Carbonneau (33) y Carbonneau y Casteron (35, 36) descubrieron el sistema de la lira abierta, un viñedo en forma de U donde los sarmientos siguen un desarrollo ascendente, lo cual mejoró la maduración y la calidad de los vinos

cabernet sauvignon y del Burdeos blanco en comparación con un dosel sin dividir con independencia del espaciamiento de las hileras. Asimismo, Smart (173) descubrió que un dosel dividido con una disposición vertical, a saber el sistema de dos niveles Te Kauwhata, utilizado en viñas de gewürztraminer mejoraba la calidad del vino. Inrieri (75) demostró que la calidad del vino de sangiovese mejoró con el sistema GDC. Los tres sistemas generaron un mejor microclima en el dosel debido a la mejora de las relaciones espaciales. Los antocianos del vino y los fenoles del pinot noir aumentaron con los doseles divididos – Scout Henry, lira, y GDC – en comparación con los doseles sin disposición vertical, pero los vinos procedentes de doseles no divididos tuvieron un sabor más típico y mas aroma frutal (P.B. Lombard, datos no publicados, 1992).

Un enfoque muy distinto consiste en practicar la poda mínima (PM). Con este método, las cepas se conducen por una espaldera vertical de unos 1.8 m de altura, y aparte del recorte mecánico del dosel en determinadas épocas del año, no se lleva a cabo ninguna poda específica (41, 118). Los resultados en estos climas más templados sugieren que tras un incremento en el rendimiento del primer año después de la implantación, los rendimientos se estabilizan y la composición del mosto no difiere mucho de los regímenes de poda corrientes. Los resultados obtenidos con müller thurgau y chardonnay por uno de los autores en un clima fresco de Marlborough, Nueva Zelanda (D.I. Jackson, resultados no publicados) demuestran, durante un período de tres años, se produjo una mayor variación del rendimiento en las cepas con poda corta que en las cepas de control. La composición del mosto y la calidad del vino eran inferiores en cepas con poda corta si los rendimientos eran altos, pero similares si los rendimientos eran equivalentes a la espaldera vertical estándar.

II.4.5.3. Efectos de la luz y la sombra:

Estos últimos años se han investigado mucho los efectos de la gestión de dosel en la composición de la uva y la calidad del vino. Smart y sus colaboradores concluyeron que un factor que contribuye considerablemente a la mala calidad es el auto sombreado de las viñas (170, 172, 177, 180, 181). Estos estudios sugieren que un microclima sombreado aumenta el pH y la concentración de K del mosto y merma tanto el color del vino como el contenido de componentes fenólicos en cualquier momento.

Los estudios posteriores no han confirmado coherentemente estas afirmaciones. La sombra neutral arrojada por un toldo no modifica el pH (184). La sombra natural, no obstante, redujo la proporción de luz roja: roja lejana, incrementando el pH y la concentración de K (175, 182). Sin embargo, el hecho de añadir luz roja adicional a las plantas sombreadas para incre-

mentar el ratio luz roja: roja lejana no afectó al pH ni al K (184). Utilizando cepas contiguas para conseguir distintas densidades de dosel y de ese modo producir 'sombra natural', Archer y Strauss (9) demostraron que esos tratamientos reducían el rendimiento y la masa del racimo y de la baya, además del color del hollejo y el contenido de ácido tartárico, el pH, el ácido málico y la AT. La calidad del vino se resintió. Da la impresión ahora que el resultado en términos de pH de la baya depende de si son las hojas o las bayas las que están expuestas a la sombra natural. Por ejemplo, las bayas expuestas al sol y las sombreadas en cepas cultivadas en el campo tenían un pH similar (48). Cuando los pámpanos de las cepas adyacentes daban sombra a las bayas y/o hojas, el sombreado de las hojas incrementó el pH mientras que el sombreado de las bayas no lo hizo (135, 136, 156).

Los resultados que miden el contenido de azúcares y ácido van un poco más allá. La sombra, ya sea natural o artificial, casi siempre reduce el contenido de azúcares y normalmente incrementa la acidez en cualquier época, reacción que se suele interpretar como un retraso de la maduración (99, 135, 150, 181, 184). Parece que esto es más una consecuencia del sombreado de los pámpanos que del sombreado de las bayas (49, 135).

Investigaciones posteriores tienden a confirmar que la exposición suele incrementar el contenido de antocianos y fenoles (184), y la exposición de las bayas parece ser más importante que la de las hojas (49, 135).

Utilizando cartones negros para dar sombra a las bayas, Giogessi y Leo (62) también confirmaron una reducción de antocianos en el hollejo, con escaso efecto sobre el contenido de azúcares y ácidos de las bayas. La evaluación sensorial del mosto y el vino procedentes de cepas con hojas y/o bayas sombreadas indicó que los catadores podían observar diferencias en el aroma del mosto y el aroma y sabor del mosto del grupo de control y de cada uno de los tres tratamientos (136).

Carbonneau (34) también ha demostrado que las bayas expuestas al sol tienen una mayor concentración fenólica y de antocianos, pero advierte que una exposición excesiva del racimo que derive en un alto contenido fenólico puede conferir aromas indeseados al vino de cabernet sauvignon al cabo de unos años.

También se ha demostrado que el sombreado de las bayas incrementa la percepción 'herbácea' del vino (147, 185). La exposición a la luz puede incrementar los terpenos volátiles potenciales (151, 152, 153) o reducir los niveles de metoxipiracina (185). Diversos estudios también afirman que en los doseles que exponen más al sol los racimos producen un vino calificado como superior en los paneles de catas (37, 146, 170).

Aunque algunos resultados inducen confusión, se está estableciendo un patrón que generalmente relaciona un sombreado excesivo con un mosto desequilibrado, que produce vino de baja calidad. Se está investigando para evaluar los métodos de conducción específicos y determinar los efectos del tipo de luz, con la idea de fomentar mejoras del diseño de los doseles (172, 184). Las prácticas para incrementar la exposición de los racimos (deshojando, por ejemplo) deberían ser estudiadas viñedo por viñedo, dependiendo de la exposición histórica del dosel y de la calidad previa del vino. Las cepas cuyos pámpanos y racimos ya reciben una exposición adecuada pueden no beneficiarse o incluso resentirse de una mayor exposición.

II.4.5.4. Conducción estival:

Durante el verano, los viticultores pueden dejar los sarmientos desatendidos y sin cortar o pueden colocarlos o podarlos. Esto es más común cuando el sombreado se produce dentro o entre doseles. Aunque este estudio no abarca los detalles de los diversos sistemas de gestión de dosel, sí se comentan algunas de las consecuencias de dichas modificaciones.

- (i) **La disposición de los sarmientos:** Frecuentemente se conducen los sarmientos sueltos entre los alambres de conducción para mantener los sarmientos en una configuración del dosel específica a fin de mejorar la exposición del racimo. La colocación de los sarmientos es muy importante en los doseles divididos para evitar sombrear el dosel adyacente (182). En los doseles ascendentes verticalmente, el hecho de conducir los sarmientos sueltos entre los alambres puede exponer a algunos racimos, pero también puede arrojar una sombra considerable sobre otros (174).
- (ii) **Despunte:** Dado que hay una media de 2 racimos por sarmiento, que pesan unos 200 g, el número de hojas necesarias para madurar la baya es de 10 a 14 por sarmiento para alcanzar el nivel requerido de 8 a 10 cm² de superficie foliar por gr. de baya (103). Koblet (104) mantiene que la poda estival en el 14º entrenudo, en Suiza, mejoró la maduración, favoreciendo el contenido de azúcares y reduciendo el de ácidos. Esto, dice, se debe a que la cubierta induce el crecimiento de sarmientos laterales con hojas más jóvenes que aseguran una fotosíntesis más eficiente, y por ello, son capaces de dar más sustento a las uvas del sarmiento principal. Dado que se observó una alta correlación entre el número de hojas y el contenido de azúcares, no se recomendó quitar los sarmientos laterales por encima de la zona del racimo (107). Por el contrario, Schneider (159) quitó todos los sarmientos laterales desde los racimos en adelante. Esto permitió una mayor insolación de la superficie foliar restante, pero no

afectó al rendimiento ni al ° Brix. Sin embargo, la AT se redujeron ligeramente. Esas diferencias pueden ser explicadas fácilmente por las variaciones climáticas en las diferentes regiones.

Solari *et al.* (186) despuntó las cepas sangiovese en Italia en el 12° entrenudo 25 días después de la floración. Las cepas despuntadas incrementaron su crecimiento lateral, y en dichas cepas, la superficie foliar era menor que en las que no se despuntaron. El despunte favoreció el crecimiento de la baya e incrementó la AT y el ácido málico, pero no el tartrato, en la misma fecha. Se creyó que el incremento del ácido málico se debió a la mejora de la insolación de las hojas del sarmiento principal conseguida sin afectar a la exposición del racimo. El despunte redujo ligeramente el contenido de K y el pH de las bayas.

Kliewer y Bledsoe (95) descubrieron que despuntar entre los nudos 14 y 16 antes del envero reducía la acumulación de azúcares y ácidos, e incrementaba el pH. Cuando hicieron comparaciones con el mismo ° Brix, pH y AT no apreciaron diferencias entre las cepas de cabernet sauvignon despuntadas y las que no lo fueron, pero el despunte sí redujo los antocianos a pesar de que aumentó el nivel de luz difusa.

En ensayos realizados en Australia con shiraz, los sarmientos se despuntaron de 2 a 6 hojas por encima del último racimo (nudos 6 y 10) entre la poda de racimos y el envero; después se permitió que los sarmientos volvieran a crecer (143). El corte de los sarmientos hasta el 10° nudo en época temprana alargó los racimos e incrementó el rendimiento y el ° Brix en comparación con los que no se cortaron, pero los despuntados en el sexto nudo redujeron su contenido de azúcares y la pigmentación del hollejo. A simple vista, en estas condiciones el despunte temprano en el 10° nudo permitió una exposición suficiente para favorecer el rendimiento y la maduración. Más adelante, Smart (173) descubrió que los sarmientos cortados de entre los nudos 10 y 12 eran más satisfactorios que otros sarmientos más largos en cepas gewürztraminer en doseles verticales no divididos. En un clima más fresco (Columbia Británica), Reynolds y Wardle (153) despuntaron a 5, 10, y 15 hojas después de la floración, al desarrollo completo del dosel y en el envero. Las cepas despuntadas tuvieron un menor rendimiento y peores características de composición del mosto. El peor resultado se dio con cinco hojas y poda tardía.

Las cepas de semillon cultivadas en una pérgola en altura se despuntaron 1 ó 2 veces durante el verano y quedó patente el efecto sobre diversos factores (146). El despunte incrementó la exposición de los racimos a la luz, redujo el rendimiento, y frenó la maduración. Los efectos finales sobre los SS, la AT y el pH fueron mínimos, pero se apreciaron diferencias importantes en la calidad del vino. El jurado de cata calificó mejor los vinos procedentes de cepas despuntadas que los

del grupo de control, debido fundamentalmente a su menor carácter herbáceo que, según el autor, es común en las espalderas en altura. El color de los vinos procedentes de cepas despuntadas era más intenso, pero su intensidad aromática era menor.

(iii) **Deshojado (LR):** Es práctica habitual el arrancar las hojas de alrededor de los racimos, especialmente en condiciones de regadío. En Suiza se ha demostrado que deshojar los sarmientos más bajos aumenta el contenido de azúcares y reduce el malato y la enfermedad; las cepas deshojadas compensan parcialmente los pámpanos perdidos mediante un ligero aumento del tamaño de las hojas adyacentes y un incremento de la superficie foliar de los sarmientos laterales (106). Cuanto antes se produjo la defoliación, mayor fue el aumento de la longitud y número de sarmientos laterales; la defoliación tras el envero no tuvo efecto sobre el crecimiento lateral (73).

Además, cuando los pámpanos envejecen disminuye su eficiencia fotosintética, y en consecuencia, arrancar las hojas más bajas quizás sólo reduzca escasamente la superficie foliar efectiva (103). Se ha descubierto que el deshojado hace que las hojas que quedan incrementen su actividad de fotosíntesis (72). El deshojado con una PPFR baja (ratio de flujo de fotones fotosintéticos), de hecho, incrementó el contenido de azúcares y redujo los niveles de AT, pH, y K en el mosto. Por el contrario, si las hojas y la zona de las bayas tenían un alto PPFR, no se apreciaban efectos sobre la composición (100). El deshojado también dio lugar a la reducción del ácido málico y de la piracina herbácea del sauvignon blanc, así como al incremento de antocianos y fenoles del hollejo en cabernet sauvignon cuando se hizo entre 4 semanas después de la caída del capuchón y el envero; el deshojado más tardío tuvo un efecto menor (185). El deshojado de sauvignon blanc redujo los aromas vegetales (habitas en lata, apio, verduras frescas) y el sabor vegetal en boca (12); fue más efectivo cuando se practicó al principio o poco después del envero. No afectó a la percepción de los aromas de la baya. El deshojado parcial del cabernet sauvignon incrementó la concentración de antocianos en los hollejos de la baya y el efecto tendió a ser mayor cuanto más tarde se hizo. La mayor concentración se dio con el deshojado en el envero (71). Estos viticultores afirmaron que los vinos elaborados a partir de cepas parcialmente deshojadas fueron calificados como de mayor calidad que los procedentes de cepas no deshojadas. También se ha observado que el deshojado reduce la infección por botyitis (63, 185).

A pesar de estos resultados, no todos los intentos de adelantar la maduración o de mejorar la composición



de la uva por medio del deshojado han sido fructíferos (74, 138; D. I. Jackson, resultados no publicados). Esto se podría deber a que muchos doseles ya son adecuados para el tipo de vino deseado, o que el sombreado no supone un problema en el viñedo en cuestión. Algunas veces el deshojado reduce el peso de la baya y los SS e incrementa la AT (94), posiblemente porque se ha suprimido superficie foliar (23). Otro estudio sugiere que el deshojado de entre 2 a 4 hojas alrededor de la zona de la baya tiene escaso efecto sobre la composición del mosto, pero sí previene la podredumbre del racimo en un clima relativamente lluvioso (209).

Es obvio que, con la poda y conducción, el viticultor tiene herramientas poderosas para influir en la calidad. Mediante el grado de poda invernal se puede regular el rendimiento; con el diseño del viñedo se pueden modificar la inflexión de la luz, la densidad de los sarmientos y el microclima. La gestión de los sarmientos y de las hojas durante el verano se puede utilizar para conseguir fines concretos: incrementar la penetración de la luz hasta las hojas y las bayas, reducir la humedad, o quizás para reducir la competencia de los sarmientos jóvenes. Lo antedicho indica que las consecuencias de estas intervenciones no siempre son claras y pueden tener resultados distintos cuando se producen variaciones en las condiciones ambientales.

II.4.6. Factores diversos

Otros estudios sugieren factores adicionales que podrían influir de algún modo en la calidad; los abordaremos por separado en los apartados siguientes.

II.4.6.1. Efectos genéticos y virus:

Está claro que los varietales son muy distintos entre sí, y ya se ha señalado que la interacción entre el varietal y el clima es un factor determinante de la calidad. En algunos países se ha hecho un gran esfuerzo de desarrollo de proyectos de reproducción, a menudo con objetivos específicos en mente. En Alemania, por ejemplo, un clima fresco ha determinado que los principales objetivos deberían de ser la maduración temprana combinada con una buena resistencia a las enfermedades y una alta calidad del vino (16).

Cuando el varietal está bien combinado con el clima y los vinos tienen un mercado esperándolos, hay poco incentivo para desarrollar otros nuevos. En esas condiciones, la selección clónica del varietal puede ser un método útil de mejora de la economía de crecimiento y de la calidad del vino. Este método se ha utilizado con éxito en Alemania (16) y en Borgoña (22) para mejorar los rendimientos y mantener la calidad del riesling y del pinot noir respectivamente.

Los clones de algunos varietales modifican considerablemente los hábitos de crecimiento y producción así como la composición de la uva, de esta manera se han caracterizado varios cientos de clones del pinot noir (22), gewürztraminer (158), y chardonnay (22). Los clones verticales de pinot noir se consideran de peor calidad que los colgantes (22).

La morfología del racimo, la composición de la baya, y la calidad del vino de los clones pinot noir pueden variar en función de la época y del lugar (197). A menudo se piensa que son mejores las bayas pequeñas porque su mosto tiene más color; sin embargo estos autores no pudieron correlacionar el tamaño de la baya con la composición entre 13 clones; creían que los factores genéticos y de rendimiento tenían mayores efectos. Se concluyó que por medios sensoriales se podían identificar varios clones pinot noir que merecieron la mejor nota en intensidad de aroma y sabor, carácter del varietal, cuerpo y color.

Generalmente los viticultores franceses utilizan varios clones para mezclar los vinos y de ese modo mantener las características de su región (158). En Australia, 7 de un jurado de 9 enólogos fueron incapaces de distinguir las diferencias entre 10 clones de cabernet sauvignon (121), a pesar de la diferencia considerable de rendimiento. La selección de clones es claramente específica de cada clima, y cada región debe evaluar los clones que se adaptan al suyo.

No se conocen bien los efectos del portainjerto en la composición de la uva y la calidad del vino, pero probablemente dependen del vigor del portainjerto; y por ello influyen en el crecimiento y en la gestión de dosel. En un estudio comparativo entre dos portainjertos, St. George y 99R (más adelante identificado como 110R), cuanto más vigoroso fue el rendimiento de la baya de St. George más concentración se observó de N, ácido, taninos, K y un pH más alto (140). Los portainjertos que restaron vigor al crecimiento de la vid produjeron un vino de mayor calidad (117). Si, por otro lado, un portainjerto resistente permitía un crecimiento adecuado en un lugar donde de lo contrario la superficie foliar resultaría insuficiente, se consiguió una mayor calidad del vino (A. J. Ewart, comunicación personal).

Durante el proceso de selección de clones, los investigadores y los viticultores hicieron una selección contra la presencia de virus, y por ello su incidencia y su impacto se ha reducido muy considerablemente (16). También se puede proteger de muchos virus a las viñas mediante un tratamiento térmico, cuyo éxito se puede medir mediante la indexación de virus. Las viñas liberadas de los principales virus son más sanas y dan mayores rendimientos además de una mejor calidad del vino (116). Por ejemplo, con cabernet franc, las uvas tratadas tuvieron unos niveles de azúcar más

altos, y el color del vino, la acidez, la astringencia y el aroma también mejoraron (208). Parte de esta mejora se pudo deber a la poda temprana, pero los autores afirman que las bayas de viñas muy infectadas rara vez tenían niveles ° Brix superiores a 12, en comparación con 18 en las viñas libres de virus. Dado que las viñas liberadas de los virus conocidos tienen un mayor crecimiento y rendimiento, puede haber ocasiones en las que hay que modificar la gestión para asegurar la calidad de los vinos.

II.4.6.2. Uvas enfermas:

Las uvas enfermas pueden añadir componentes adicionales que pueden afectar a la calidad. Los ataques tardíos de *Botrytis cinerea* a uvas de regímenes climáticos específicos pueden marchitar las bayas y aportar sabores botríticos. Los vinos Auslese de Alemania o los Sauternes de Francia son ejemplos muy conocidos. Además de añadir sabores propios, la botrytis puede modificar los componentes existentes; por ejemplo, el linalool (un monoterpeno) se puede oxidar en componentes sin sabor, y en consecuencia, el vino pierde parte de sus sabores y olores característicos (202). En situaciones en las que el desarrollo fúngico parte el hollejo, favoreciendo la proliferación de una multitud de hongos y bacterias en el mosto. El mosto de esas bayas es poco apreciado, o lo que es peor, puede ser descartado para la producción del vino.

El mildíu polvoriento puede reducir la calidad del vino (139). Los catadores de vinos elaborados con uvas enmohecidas los puntuaron más bajo y observaron sabores amargos y desagradables en comparación con los vinos elaborados con uvas no infectadas.

II.4.6.3. Reguladores del crecimiento de la planta:

El cloromecuato (CCC, Cycocel) mejora el cuajado de la baya e incrementa el rendimiento de vinos (31, 43, 44). A pesar de las numerosas funciones desempeñadas por el cloromecuato y de su uso comercial en viticultura, no hay estudios publicados sobre sus efectos en la calidad del vino. Este producto acorta los sarmientos, hace que las hojas sean de un verde más oscuro, y que las bayas sean más pequeñas (43). Se acepta que el vino puede resultar afectado por: (1) cambios en el microclima que derivan en un menor crecimiento y sombreado además de un menor recorte en verano; (2) por las bayas pequeñas – para obtener un mayor ratio hollejo:mosto; y (3) por el incremento del rendimiento. Estas posibilidades todavía están por explorar. Se ha utilizado daminozida (Aldar) en uvas concord para mejorar el rendimiento, y aparentemente funciona de manera similar al cloromecuato (60). El cloromecuato y la daminocida están prohibidos en algunos países viticultores.

El etefon, que tras su pulverización libera el etileno de la hormona de la planta, adelanta la maduración

de las uvas (111, 122, 192) y se ha demostrado que produce mayor color en diversos varietales (145, 199, 200). Shulman *et al.* (165) descubrió que adelantaba la maduración, incrementaba el azúcar y el color rojo del mosto de cariñena, y cuando éste se vinificó, recibió mejores puntuaciones por parte de los jurados de cata. El aumento del color es mayor cuando se aplica entre 250 y 500 mg/L en torno al envero, poco después de que empiece a aparecer el color (145, 200). Aunque la mejora del color y de la maduración puede tener ventajas obvias de calidad en ciertas situaciones, también se ha dicho que el etefon retrasa la maduración. Esto se ha demostrado sobre todo cuando se aplica el etefon a las 2 semanas de la caída del capuchón (192).

El etefon produce otros efectos que pueden tener consecuencias en la calidad. Si se pulveriza entre la brotación y tres semanas antes de la caída del capuchón, reduce el rendimiento (192, 200), al favorecer una necrosis temprana del tallo del racimo (78). El etefon a 480 ppm, también detiene el crecimiento vegetativo, un efecto que puede durar de 8 a 10 semanas; si se aplica en la zona superior del follaje al cabo de 4 a 5 semanas después de la caída del capuchón, no afectará al rendimiento (111). De ese modo sería un método eficiente para controlar el crecimiento vegetativo en viñedos de gran vigor y podría ayudar a reducir los efectos de un sombreado excesivo (véase el Apartado 5C). Wolf *et al.* (206) informaron que el etefon produjo efectos similares y generalmente beneficiosos en la composición de la baya al recortar cepas de riesling hasta 20 hojas. Hay que mencionar otro efecto positivo de este producto químico: si se aplica tras la caída del capuchón, reduce entre un 20% y un 30% la cantidad de racimos de segunda vendimia (192). Es posible que la mejor maduración se deba en parte a la menor competencia entre los sarmientos que crecen rápidamente y las bayas de segunda vendimia.

Se ha aplicado el ácido giberélico (GA3) antes de la floración, durante la floración y después de ésta para aclarar de bayas de los racimos, para aumentar el tamaño de la baya y reducir la podredumbre en las uvas de mesa y de vino (89, 129, 198). Dado que los racimos cargados están más expuestos a la podredumbre del racimo debido al desarrollo insuficiente de cera epicuticular entre bayas que están en contacto constante (123), se ha utilizado el GA3 para aclarar los racimos de zinfandel así como otras uvas de vino (129). Los racimos de zinfandel, sumergidos antes de la floración en GA3 en concentraciones de 10, 25 y 50 mg/L, dieron bayas de menor peso y produjeron racimos más sueltos. Un menor número de bayas, bayas pequeñas y pedicelos alargados fueron la razón principal del desarrollo de racimos sueltos. El ° Brix aumentó en las bayas tratadas con GA3 a 50 mg/L, pero la AT no varió. Uno de los autores observó una reducción de la podredumbre de los racimos en pinot noir y chardonnay utilizando GA3 en concentraciones de 10 a 50

mg/L antes de la floración. La reducción se debió a los racimos sueltos con menos bayas y más pequeñas (P. B. Lombard, resultados sin publicar, 1988).

II.4.6.4 Otros tratamientos y respuestas internas:

El fenómeno llamado 'corrimiento', se debe a un cuajado inadecuado y a la retención de bayas partenocárpicas sin pepitas (39, 61). Las bayas sin pepita son más pequeñas que la que tienen pepita, y se ha demostrado que si se vendimian y vinifican por separado, producen una calidad mayor para el chasselas (83). Las bayas pequeñas dan una mayor proporción de hollejo con respecto al contenido de mosto lo cual imparte al vino más fenoles y/o color. Aunque probablemente vendimiar esas bayas por separado no sea comercialmente viable, los tratamientos que inducen a esta situación pueden incidir en la calidad del vino. Las aplicaciones de cloromecuato y GA3 pueden retener un mayor número de bayas pequeñas y sin pepita; la compresión también incrementa la retención de bayas sin pepita en variedades que suelen tener pepitas (31).

En los laterales que brotan del sarmiento principal durante la temporada de crecimiento, a veces brotan racimos secundarios. Como estos se desarrollan más tarde, a menudo no están maduros en el momento de la vendimia. Pero si después de la vendimia las condiciones son favorables, se pueden vendimiar totalmente maduros. Si se recolectan con la vendimia principal alterarán la composición del mosto, normalmente volviéndolo demasiado ácido. En ocasiones los viticultores los retiran a mano antes de la vendimia, sobre todo si practican una vendimia mecánica. Combe (45) demostró que la retirada de estos racimos secundarios aceleraba la maduración de los racimos primarios y aumentaba el contenido de azúcares final. Ya se ha mencionado la posible utilización de etefon con este fin.

II.4.7. Conclusiones

Los factores que causan cambios en la composición de las uvas y en la calidad del vino pueden ser efímeros e inducir interacciones complejas. La Figura 2 ilustra una interpretación visual de los sistemas de estos efectos e interacciones. Es similar a otra propuesta por Smart (171) e incorpora rasgos subrayados por Seguin (161).

Existe un amplio abanico de factores externos, como el clima, el suelo, la geografía y la gestión del viñedo,

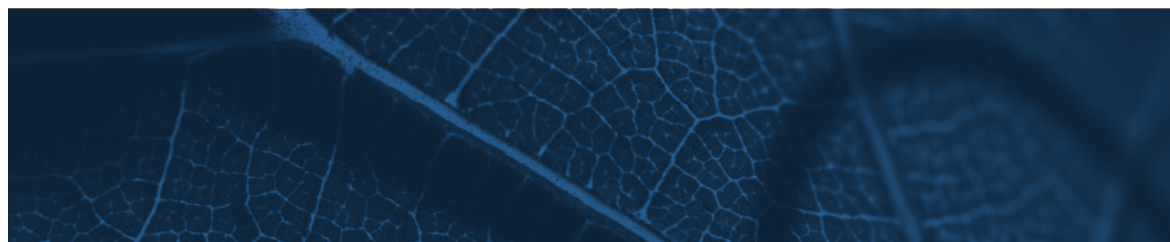
que han demostrado su capacidad de modificar los parámetros de crecimiento de la vid; entre ellos el comienzo de la floración, el cuajado, el rendimiento, el crecimiento vegetativo, el microclima, y la incidencia de las enfermedades. Estos a su vez pueden modificar la fisiología de la baya para cambiar su composición y, en último lugar, la calidad del vino producido.

La Tabla 1 lo presenta de forma más exhaustiva, pues considera condiciones ambientales y de gestión específicas y resume su efecto en cinco parámetros de composición. Las fuentes de los datos se señalan en este estudio.

Una característica en la que se ha insistido es la dificultad de diferenciar los efectos sobre la tasa de maduración de los que causan cambios en la composición con una maduración equivalente. Dado que la maduración es una amalgama de muchos cambios, resulta difícil de definir, igual que la calidad, y no resulta sorprendente que haya ocasionado dificultades a los investigadores y que sea ignorada con frecuencia. De todos modos es evidente que a medida que se pasa hacia regiones más frías o con estaciones más cortas, la consecución de un nivel de maduración, se defina como se defina éste, puede verse limitada por el entorno, de modo que las prácticas de gestión que aceleran los cambios de SS y AT son muy importantes a la hora de conseguir el sabor, aroma y color deseados. El reconocimiento de este factor, es tan importante que proponemos que las áreas donde estos problemas no son infrecuentes se denominen zonas Alfa.

Cuando el tiempo de maduración no resulta limitador (zonas Beta), es más importante conseguir medir la madurez intrínseca relacionando los cambios de la composición con el tratamiento. Quizás el factor más importante que hay que investigar sea encontrar una medida común de la madurez que sea aplicable a un máximo de los viticultores.

A pesar de estas reservas, no cabe duda de que ya se sabe lo suficiente para poder ayudar a los viticultores a cambiar sus hábitos en busca de una mayor calidad. Esta información proviene de la tradición y de la investigación. No se debe pasar por alto la tradición, pero a veces ésta no se adapta a otra región. Las nuevas tradiciones de estas regiones dependerán de una investigación adecuada y competente.



II.4.8. Referencias bibliográficas

1. **Aljibury, F. K.** Grape response to cooling with sprinklers. *Am. J. Enol. Vitic.* 26:214-17 (1975).
2. **Allen, M. S., M. J. Lacey, R. L. N. Harris, and W. V. Brown.** Contribution of methoxypyrazines to Sauvignon blanc wine aroma. *Am. J. Enol. Vitic.* 42:109-12 (1991).
3. **Alleweldt, G., H. During, and K. H. Jung.** Zum Einfluss des Klimas auf Beerentwicklung, Ertrag, und Qualitt bei Reben: Ergebnisse einer siebenjährigen Faktorenanalyse. *Vitis* 23:127-42 (1984).
4. **Alleweldt, G., R. Eiback, and E. Ruehl.** Untersuchungen zum Gaswechsel der Rebe. I. Einfluss von Temperatur, Blattalter und Tageszeit auf Netto-photosynthese und Transpiration. *Vitis*. 21:93-100 (1982).
5. **Alleweldt, G., and E. Ruehl** Untersuchungen zum Gaswechsel der Rebe. II. Einflusslanganhaltender Bodentrockenheit auf die Leistungsfhigkeit verschiedener Rebsorten. *Vitis* 21:313-324 (1982).
6. **Amerine, M. A., and C. S. Ough.** Methods for Analysis of Musts and Wines. John Wiley, New York (1980).
7. **Amerine, M. A., and A. J. Winkler.** Composition and quality of musts and wines of California grapes. *Hilgardia* 15:493-673 (1944).
8. **Archer, E., and H. C. Strauss.** The effect of plant spacing on the water status of soil and grapevines. *S. Afr. J. Enol. Vitic.* 10:49-58 (1989).
9. **Archer, E., and H. C. Strauss.** Effect of shading on the performance of *Vitis vinifera* L. cv. Cabernet Sauvignon. *S. Afr. J. Enol Vitic.* 10:74-7 (1989).
10. **Archer, E., and H. C. Strauss.** The effect of vine spacing on some physiological aspects of *Vitis vinifera* L. (cv. Pinot noir). *S. Afr. J. Enol, Vitic.* 11:76-87 (1990).
11. **Archer, E., and H. C. Strauss.** The effect of vine spacing on water status, vegetative and reproductive performance of *Vitis vinifera* L. (cv. Pinor noir). *S. Afr. J. Enol. Vitic* 12:70-6 (1992).
12. **Arnold, R. A., and A. M. Bledsoe.** The effect of various leaf removal treatments on the aroma and flavor of Sauvignon blanc wine. *Am. J. Enol. Vitic.* 41:74-6 (1990).
13. **Balasubrahmanyam, V. R., J. Eifert, and L. Diofasi.** Vine behaviour and wine composition in Italian Riesling grapes as influenced by differential cropping levels. *Vitis* 18:122-6 (1979).
14. **Bavaresco, L.** Mineral nutrition and grapevine diseases and pests. *Vignevini* 16(9):25-35 (1989).
15. **Bayonove, C., R. A. Cordonnier, and P. Eubois.** Etude d'une fraction caractéristique de l'arome du raisin de la variété Cabernet Sauvignon; mise en évidence de la 2-methyl-3-isobutylpyrazine. *C. R. Acad. Sci. Ser. D.* 281:75-8 (1975). (In: Lacey *et al.* 1988).
16. **Becker, H.** Wine grape varieties for cool climates. *In: Proceedings of the International Symposium on Cool Climate Viticulture and Enology.* D. A. Heatherbell, P. B. Lombard, F. W. Bodyfelt, and S. F. Price (Eds.) pp 46-62. Oregon State University Experiment Station Technical Publication No. 7628 (1985).
17. **Becker, N. J.** The influence of geographical and topographical factors on the quality of the grape crop. *In: Proceedings of the OIV Symposium on Quality of the Vintage.* Oenological and Viticulture Research Institute, Capetown. pp 169-80 (1977).
18. **Becker, N. J.** Experimental research on the influence of microclimate on grape constituents and on the quality of the crop. *In: Proceedings of the OIV Symposium on Quality of the Vintage.* Oenological and Viticulture Research Institute, Capetown. pp 181-8 (1977).
19. **Becker, N.** Site selection for viticulture in cooler climates using local climatic information. *In: Proceedings of the International Symposium on Cool Climate Viticulture and Enology.* D. A. Heatherbell, P. B. Lombard, F. W. Bodyfelt, and S. F. Price (Eds.) pp 20-34. Eugene, OR. Oregon State University Experiment Station Technical Publication No. 7628 (1985).
20. **Becker, N., and H. Zimmerman.** Experimentell-ökologischer Versuch zum Einfluss der Lichtintensität und der Wasserversorgung auf Wachstum, Entwicklung und Ertragsbildung bei Topfreben. *Wein-Wiss.* 38:219-59 (1983).
21. **Becker, N., and H. Zimmerman.** Der Einfluss verschiedener Wasserversorgung auf Triebwachstum, Beerenentwicklung, Holzreife and Holzstruktur bei Topfreben. *Wein-Wiss.* 38:363-78 (1983).
22. **Bernard, R., and M. Leguay.** Clonal variability of Pinot noir in Burgundy and its potential adaptation under other cooler climates. *In: Proceedings International Symposium on Cool Climate Viticulture and Enology.* D. A. Heatherbell, P. B. Lombard, F. W. Bodyfelt, and S. F. Price (Eds.) pp 63-79. Eugene, OR. Oregon State University Experiment Station Technical Publication No. 7628 (1985).
23. **Bledsoe, A. M., W. M. Kliewer, and J. J. Marois.** Effects of timing and severity of leaf removal on yield and fruit composition of Sauvignon blanc grapevines. *Am. J. Enol. Vitic.* 39:49-54 (1988).

24. **Bourbals, D., S. Meriaux, H. Rollin, M. Panine, J.-M. Potier, J. Lessut, and J.-L. Guiraud.** Résultats d'un essai d'irrigation localisée et d'irrigation par aspersion sur sept variétés de vigne dans le Sud de la France. *Bull. OIV.* 57(641/642):597-605 (1984).
25. **Branas, J.** *Viticulture.* Impr. Déhan, Montpellier (1974).
26. **Bravdo, B., and Y. Hepner.** Irrigation management and fertigation to optimise grape composition and vine performance. *HortScience* 21(3) Abstract No. 1600 (1986).
27. **Bravdo, B., Y. Hepner, S. Loinger, S. Cohen, and H. Tabacman.** Effet de l'irrigation et de l'alimentation minérale sur la qualité du moût et des vins provenant des vignobles de Cabernet Sauvignon et de Carignan aux rendements en Israël. XVIIIe Congres Int. de la Vigne et du Vin de O.I.V., Le Cap pp 24-28. *O.I.V.* 1983:273-288 (1983).
28. **Bravdo, B., Y. Hepner, C. Loinger, S. Cohen, and H. Tabacaman.** Effect of crop level on growth, yield and wine quality of a yielding Carignane vineyard. *Am. J. Enol. Vitic.* 35:247-52 (1984).
29. **Bravdo, B., Y. Hepner, C. Loinger, S. Cohen, and H. Tabacaman.** Effect of crop level and crop load on growth, yield, must and wine composition and quality of Cabernet Sauvignon. *Am. J. Enol. Vitic.* 36:125-31 (1985).
30. **Bravdo, B., Y. Hepner, C. Loinger, S. Cohen, and H. Tabacaman.** Effect of irrigation and crop level on growth, yield and wine quality of Cabernet Sauvignon. *Am. J. Enol. Vitic.* 36:132-9 (1985).
31. **Brown, K., D. I. Jackson, and G. F. Steans.** Effects of chlormequat, girdling and tipping on berry set in *Vitis vinifera* L. *Am. J. Enol. Vitic.* 39:91-4 (1998).
32. **Buttrose, M. S., C. R. Hale, and W. M. Kliever.** Effect of temperature on the composition of Cabernet Sauvignon berries. *Am. J. Enol. Vitic.* 22:71-5 (1971).
33. **Carbonneau, A.** Influence des systèmes de conduite en "Lyre" sur la physiologie de la vigne. *Prog. Agricole Viticole* 99:290-9 (1982).
34. **Carbonneau, A.** Trellising and canopy management for cool-climate viticulture. *In: Proceedings of the International Symposium on Cool Climate Viticulture and Enology.* D. A. Heatherbell, P. B. Lombard, F. W. Bodyfelt, and S. F. Price (Eds.) pp 158-74. Eugene, OR. Oregon State University Experiment Station Technical Publication No. 7628 (1985).
35. **Carbonneau, A., and P. Casteran.** Ecophysiologie du système de conduits. *Intérêt des vignes en Lyre* pour la production et la qualité du vin. Groupe European d'Etude des Systèmes de Conduite de la Vigne (GESCO) 4:80-96 (1986).
36. **Cabonneau, A., and P. Casteran.** Optimization of vine performance by the Lyre training systems. *In: Proceedings of the Sixth Australian Wine Industry Technical Conference, Adelaide.* T. H. Lee (Ed.) pp 194-204 (1987).
37. **Carbonneau, A., P. Casteran, and P. L. Leclair.** Essai de détermination, en biologie de la plante entière, des relations essentielles entre le bioclimat naturel, la physiologie de la vigne et la composition du raisin. *Ann. Amélior. Plantes* 28:195-221 (1978).
38. **Champagnol, F.** Relations entre la croissance "in vitro" de "*Botrytis cinerea*" et la composition des mots de raisin. *CR Acad. Agric. Fr.* 1082-97 (1969).
39. **Champagnol, F.** *Elements de Physiologie de la Vigne et de Viticulture Générale.* Pub. The Author, Montpellier (1984).
40. **Chudyk, R. V., R. F. Crowther, and O. A. Bradt.** Use of meteorological data to estimate field sugar levels in Concord grapes. *Am. J. Enol. Vitic.* 30:253-5 (1979).
41. **Clingeffer, P. R.** Response of Riesling clones to mechanical hedging and minimum pruning of cordon trained vines (MPCT) – implications for clonal selection. *Vitis* 27:87-93 (1998).
42. **Conradie, W. J., and D. Saayman.** Effects of long-term nitrogen, phosphorus and potassium fertilization of Chenin blanc vines. II. Leaf analyses and grape composition. *Am. J. Enol. Vitic.* 40:91-8 (1989).
43. **Coombe, B. G.** Effect of growth retardants on *Vitis vinifera* L. *Vitis* 6:278-87 (1967).
44. **Coombe, B. G.** Fruit set in grapevines: the mechanism of the CCC effect. *J. Hortic. Sci.* 45:415-25 (1970).
45. **Coombe, B. G.** Development of the grape berry. I. Effects of time of lowering and competition. *Austral. J. Agric. Res.* 31:125-31 (1980).
46. **Coombe, B. G., and P. G. Iland.** Grape berry development. *In: Proceedings of Sixth Australian Wine Industry Conference, Adelaide.* T. H. Lee (Ed.) pp 50-4 (1987).
47. **Corino, L., and R. Di Stefano.** Evoluzione della sintesi glucida e dei composti terpenici del Moscato Bianco durante la maturazione in ambienti diversi ed in relazione al numero di gamme per cappe e al tipo di potatura. Rilevi di carattere agronomico. *Rivisitazioni di Viticultura e di Enologia* 37:609-80 (1984).

48. **Crippen, D. D., and J. C. Morrison.** The effects of sun exposure on the compositional development of Cabernet Sauvignon berries. *Am. J. Enol. Vitic.* 37:235-42 (1986).
49. **Crippen, D. D., and J. C. Morrison.** The effects of sun exposure on phenolic content of Cabernet Sauvignon berries during development. *Am. J. Enol. Vitic.* 37:243-7 (1986).
50. **Delas, J., and R. Pouget.** Action de la concentration de la solution nutritive sur quelques caractéristiques physiologiques et technologique chez *Vitis vinifera* L. cv. "Cabernet Sauvignon". II. Composition minérale des organes végétatifs du moût et du vin. *Agronomie* 4:443-50 (1984).
51. **Dimitriadis, E., and P. J. Williams.** The development and use of a rapid analytical technique for estimation of free and potentially volatile monoterpene flavorants of grapes. *Am. J. Enol. Vitic.* 35:66-71 (1984).
52. **Dundon, C. G., R. E. Smart, and M. G. McCarthy.** The effect of potassium fertilizer on must and wine potassium levels of Shiraz grapevines. *Am. J. Enol. Vitic.* 35:200-5 (1984).
53. **Ewart, A. J. W.** Influence of vineyard site and grape maturity on juice and wine quality of *Vitis vinifera*, cv. Riesling. Proceedings of Sixth Australian Wine Industry Conference, Adelaide. T. H. Lee (Ed.) pp 71-4 (1987).
54. **Ewart, A. J. W., C. J. Brien, R. Soderland, and R. E. Smart.** Effects of light pruning, irrigation and improved soil management on wine quality of the *Vitis vinifera* cv. Riesling. *Vitis* 24:209-17 (1985).
55. **Ewart, A., and W. M. Kliewer.** Effects of controlled day and night temperatures and nitrogen on fruit-set, ovule fertility, and fruit composition of several wine grape cultivars. *Am. J. Enol. Vitic.* 28:88-95 (1977).
56. **Fisher, K. H., O. A. Bradt, J. Wiebe, and V. A. Dirks.** Cluster thinning "de Chaunac" French hybrid grapes improves vine vigor and fruit quality in Ontario. *J. Am. Soc. Hortic. Sci.* 102:162-5 (1977).
57. **Freeman, B. M.** Effects of irrigation and pruning of Shiraz grapevines on subsequent red wine pigments. *Am. J. Enol. Vitic.* 34:23-6 (1983).
58. **Freeman, B. M., and W. M. Kliewer.** Effect of irrigation, crop level and potassium fertilization on Carignane vines. II. Grapes and wine quality. *Am. J. Enol. Vitic.* 34:197-207 (1983).
59. **Freeman, B. M., T. H. Lee, and C. R. Turkington.** Interaction of irrigation and pruning level on grape and wine quality of Shiraz vines. *Am. J. Enol. Vitic.* 31:124-35 (1980).
60. **Funt, R. C., and L. D. Tukey.** Influence of exogenous daminozide and gibberellic acid on cluster development and yield of the "Concord" grape. *J. Am. Soc. Hortic. Sci.* 102:509-14 (1977).
61. **Galet, P.** Précis de Viticulture. Déhan, Montpellier (4th Edition), 584 pp. (1983).
62. **Giorgessi, F., and F. di Lee.** Effetto della luce solare sulla colorazione dei grappoli and sulla variazione di alcuni parametri qualitativi della produzione in una cv. ad uva rossa (Cabernet F). *Riv. Vitic. Enol.* 38:401-6 (1985).
63. **Gubler, W. D., J. J. Marois, A. M. Bledsoe, and L. J. Bettiga.** Control of Botrytis bunch rot of grape with canopy management. *Plant Dis.* 71:599-601 (1987).
64. **Gysi, C.** Einfluss der Dungkung auf die Qualität von Reben in einen Topversuch. *Schweizerische Zeitschrift für Obst-und Weinbau* 120:705-14 (1984).
65. **Hale, C. R.** Relation between potassium and the malate and tartrate contents of grape berries. *Vitis* 16:9-19 (1977).
66. **Hale, C. R., and M. S. Buttrose.** Effect of temperature on ontogeny of berries of *Vitis vinifera* cv. Cabernet Sauvignon. *J. Am. Soc. Hortic. Sci.* 99:390-4 (1974).
67. **Hepner, Y., and B. Bravdo.** Effect of crop level and drip irrigation scheduling on the potassium status of Cabernet Sauvignon and Carignane vines and its influence on must and wine composition and quality. *Am. J. Enol. Vitic.* 36:140-7 (1985).
68. **Herrick, I. W., and C. W. Nagel.** The caffeoyl tartrate content of white Riesling wines from California, Washington and Alsace. *Am. J. Enol. Vitic.* 36:95-97 (1985).
69. **Hidalgo., and M. R. Candela.** Morphologie radicaire de la vigne. Instituto nacional de investigaciones agronómicas, Madrid. (cited by Champagnol, 1984).
70. **Hofäcker, W., G. Alleweldt, and S. Khader.** Einfluss von Umweltfaktoren auf Beerenwachstum und Mostqualität bei der Rebe. *Vitis.* 15:96-112 (1976).
71. **Hunter, J. J., O. T. de Villers, and J. E. Watts.** The effect of partial defoliation on quality characteristics of *Vitis vinifera* L. cv. Cabernet Sauvignon grapes. II. Skin color, skin sugar, and wine quality. *Am. J. Enol. Vitic.* 42:13-8 (1991).
72. **Hunter, J. J., and J. H. Visser.** The effect of partial defoliation, leaf position and development stage of the vine on the photosynthetic activity of *Vitis vinifera* L. cv. Cabernet Sauvignon. *S. Afr. J. Enol. Vitic.* 9(2):9-15 (1989).

73. **Hunter, J. J., and J. H. Visser.** The effect of partial defoliation on growth characteristics of *Vitis vinifera* L. cv. Cabernet Sauvignon. I. Vegetative growth. S. Afr. J. Enol. Vitic. 11:18-25 (1990).
74. **Illand, P. G.** Leaf removal effects on fruit composition. *In: Smart, R. E., R. J. Thornton, S. B. Rodriguez and J. E. Young (Eds.)* Proceeding of the Second International Symposium for Cool Climate Viticulture and Oenology, Auckland, NZ. pp. 137-8 (1988).
75. **Intrieri, C.** Experiences on the effect of vine spacing and trellis-training system on canopy micro-climate, vine performance and grape quality. Acta Hortic. 206:69-87 (1987).
76. **Jackson, D. I.** Factors affecting soluble solids, acid, pH, and color in grapes. Am. J. Enol. Vitic. 37:179-83 (1986).
77. **Jackson, D. I.** The effect of yield on wine quality. Vinifera Wine Growers J. 14:144-6 (1987).
78. **Jackson, D. I.** Environmental and hormonal effects on development of early bunch-stem necrosis. Am. J. Enol. Vitic. 42:290-4 (1991).
79. **Jackson, D. I., and N. J. Cherry.** Prediction of a district's grape-ripening capacity using a latitude-temperature index (LTI). Am. J. Enol. Vitic. 39:19-28 (1987).
80. **Jackson D., and D. Schuster.** Production of Grapes in Cool Climates. Butterworths, New Zealand (1987).
81. **Jackson D., G. Steans, and A. Collins.** Optimum bud numbers depends on variety. Southern Horticulture – Grapegrower and Winemaker 1:75-7 (1983-4).
82. **Jackson D. I., G. F. Steans, and P. C. Hemmings.** Vine response to increased node numbers. Am. J. Enol. Vitic. 35:151-3 (1984).
83. **Jaquet, A., M. Domahidy, and J. Aerny.** Le Chasselas millerandage. Evolution quantitative et qualitative au cours de la maturation. Revue Suisse de Viticulture d'Arboriculture et d'Horticulture 14 :163-8 (1982).
84. **Johnson, H.** The World Atlas of Wine. Mitchell Beazley, London. 320 pp. (1985).
85. **Kaps, M. L. and G. A. Cahoon.** Influence of leaf area adjustment, leaf position in relation to a basal cluster, and lower leaf shading on grapevine productivity. HortScience 21 (3) Abstract No. 851 (1986).
86. **Kaps, M. L., and G. A. Cahoon.** Growth and fruiting of container-grown Seyval blanc grapevines modified by changes crop level, leaf number and position, and light exposure. Am. J. Enol. Vitic. 43:191-9 (1992).
87. **Kasimatis, A. N.** Differential cropping levels of Zinfandel wines – a progress report on some effects on vine growth, fruit composition and wine quality. *In: Proceedings of the OIV International Symposium on Quality of the Vintage, Oenological and Viticulture Research Institute, Capetown.* pp 189-94 (1977).
88. **Kasimatis, A. N., K. W. Bowers, and E. P. Vilas.** Conversion of canepruned Cabernet Sauvignon vines to bilateral cordon training and a comparison of cane and spur pruning. A. J. Enol. Vitic. 36:240-4 (1985).
89. **Kasimatis, A. N., F. H. Swanson, F. P. Vilas, W. L. Peacock, and G. M. Leavitt.** The relationship of bloom-applied gibberellic acid to the yield and quality of Thompson Seedless raisins. Am. J. Enol. Vitic. 30:224-6 (1979).
90. **Kingston, C. M., and C. W. van Epenhuijsen.** Influence of leaf area on fruit development and quality of Italia glasshouse table grapes. Am. J. Enol. Vitic. 40:130-4 (1989).
91. **Klenert, M., A. Rapp, and G. Allewedt.** Einfluss der Traubentemperatur auf Beerenwachstum and Beerenreife der Rebsorte Silvaner. Vitis 17:350-60 (1978).
92. **Kliwer, W. M.** Effect of day temperature and light intensity on coloration of *Vitis vinifera* L. grapes. J. Am. Soc. Hortic. Sci. 95:693-7 (1970).
93. **Kliwer, W. M.** Berry composition of *Vitis vinifera* cultivars as influenced by photo -and nycto- temperatures during maturation. J. Am. Soc. Hortic. Sci. 98:153-9 (1973).
94. **Kliwer, W. M., and A. J. Antcliff.** Influence of defoliation, leaf darkening, and cluster shading on the growth and composition of Sultana grapes. Am. J. Enol. Vitic. 21:26-36 (1970).
95. **Kliwer, W. M., and A. Bledsoe.** Influence of hedging and leaf removal on canopy microclimate, grape composition, and wine quality under Californian conditions. HortScience 21 (3) Abstract No. 1606 (1986).
96. **Kliwer, W. M., and L. A. Lider.** Effects of day temperature and light intensity on growth and composition of *Vitis vinifera* L. fruits. J. Am. Soc. Hortic. Sci. 95:766-9 (1970).
97. **Kliwer, W. M., B. M. Freeman, and C. Hossom.** Effect of irrigation, crop level and potassium fertilization on Carignane vines. I. Degree of water stress and effect on growth and yield. Am. J. Enol. Vitic. 34:186-196 (1983).

98. **Kliewer, W. M., and D. Gates.** Wind effects on grapevine growth, yield and fruit composition. *Austral. NZ. Wine Indust. J.* 2(1):30-7 (1987).
99. **Kliewer, W. M., L. A. Lider, and H. B. Schultz.** Influence of artificial shading of vineyards on concentration of sugar and organic acid grapes. *Am. J. Enol. Vitic.* 18:78-86 (1967).
100. **Kliewer, W. M., J. J. Marois, A. M. Bledsoe, S. P. Smith, M. J. Benz, and O. Silvestroni.** Relative effectiveness of leaf removal, shoot positioning and trellising for improving winegrape composition. *In: R. E. Smart, R. J. Thornton, S. B. Rodriguez, and J. E. Young. (Eds.) Proceedings of the Second International Symposium for Cool Climate Viticulture and Oenology, Auckland, NZ pp 123-6 (1988).*
101. **Kliewer, W. M., and R. E. Torres.** Effect of controlled day and night temperatures on coloration of grapes. *Am. J. Enol. Vitic.* 23:71-7 (1972).
102. **Kliewer, W. M., and R. J. Weaver.** Effect of crop level and leaf area on growth, composition and coloration of "Tokay" grapes. *Am. J. Enol. Vitic.* 22:172-7 (1971).
103. **Kloblet, W.** Deplacement des produits d'assimilation des différentes feuilles de la vigne pendant la maturation des raisins. *Wein-Wiss.* 30:241-9 (1975).
104. **Kloblet, W.** Influence of light and temperature on vine performance in cool climates and applications to vineyard management. *In: Proceedings of the International Symposium on Cool Climate Viticulture and Enology. D. A. Heatherbell, P. B. Lombard, F. W. Bodyfelt, and S. F. Price (Eds.) pp 139-157. Eugene, OR. Oregon State University Experiment Station Technical Publication No. 7628 (1985).*
105. **Kloblet, W.** Herbstversammlung des Schweiz Weinbauvereins. *Schweiz Z. für Obst-und Weinbau* 122:175-20 (1986).
106. **Kloblet, W.** Effectiveness of shoot topping and leaf removal as a means of improving quality. *HortScience* 21(3) Abstract No. 1605 (1986).
107. **Kloblet, W., and P. Perret.** Amélioration des travaux au vest de la vigne. *Rev. Suisse Vitic. Arbor.* 4:112-7 (1971).
108. **Kobriger, J. M., W. M. Kliewer, and S. T. Laiger.** Effects of wind on water relations of several grapevine cultivars. *Am. J. Enol. Vitic.* 35:164-9 (1984).
109. **Lacey, M. J., W. V. Brown, M. S. Allen, and R. L. N. Harris.** Alkyl methoxypyrazines and Sauvignon Blanc character. *In: R. E. Smart, R. J. Thornton, S. B. Rodriguez, and J. E. Young (Eds.) Proceedings Second International Symposium for Cool Climate Viticulture and Oenology. Auckland, N. Z. pp 344-5 (1988).*
110. **Lacey, M. J., M. S. Allen, R. L. N. Harris, and W. V. Brown.** Methoxypyrazines in Sauvignon blanc grapes and wines. *Am. J. Enol. Vitic.* 42:103-8 (1991).
111. **Lavee, S., A. Erez, and Y. Shulman,** Control of vegetative growth of grape vines (*Vitis vinifera*) with chloroethyl phosphonic acid (ethephon) and other growth inhibitors. *Vitis* 16:89-96 (1977).
112. **Loinger, C., and B. Safran.** Interdependance entre le rendement, la maturation des raisins et la qualité des vins. *Ann. Tech. Agric.* 20:225-40 (1971).
113. **Long, Z. R.** Manipulation of grape flavour in the vineyard: California, North Coast region. *In: Proceedings of the Sixth Australian Wine Industry Conference, Adelaide. T. H. Lee (Ed.) pp 82-8 (1987).*
114. **Looney, N. E.** Some growth regulator and cluster thinning effects on berry set and size, berry quality, and annual productivity of de Chaunac grapes. *Vitis* 20:22-35 (1981).
115. **McCarthy, M. G.** Influence of irrigation, crop thinning and canopy manipulation on composition and aroma of Riesling grapes. Masters Thesis, Waite Institute, Glen Osmond, South Australia (1986).
116. **McCarthy, M. G.** Response of a Muscadelle clone to thermotherapy. *In: Proceedings of the Second International Symposium for Cool Climate Viticulture and Oenology, Auckland, NZ. R. E. Smart, R. J. Thornton, S. B. Rodriguez, and J. E. Young (Eds.) pp 93-4 (1988).*
117. **McCarthy, M. G., and R. M. Cirami.** The effect of rootstocks on the performance of Chardonnay from a nematode-infested Barossa Valley vineyard. *Am. J. Enol. Vitic.* 41:126-30 (1990).
118. **McCarthy, M. G., and R. M. Cirami.** Minimum-pruning effects on the performance of selections of four *Vitis vinifera* cultivars. *Vitis* 29:85-96 (1990).
119. **McCarthy, M. G., R. M. Cirami, and D. G. Furkaliiev.** The effect of crop load and vegetative growth control on wine quality. *In: Proceeding of the Sixth Australian Wine Industry Technical Conference, Adelaide. T. H. Lee (Ed.) pp 75-7 (1987).*
120. **McCarthy, M. G., and B. G. Coombe.** Water status and winegrape quality. *Acta Horticulture* 171:447-56 (1984).
121. **McCarthy, M. G., and A. J. W. Ewart.** Clonal evaluation for quality winegrape production. *In: Proceedings of the Second International Symposium for*

- Cool Climate Viticulture and Oenology, Smart, R. E., R. J. Thornton, S. B. Rodriguez, and J. E. Young, (Eds.) Auckland, N.Z. pp. 34-36 (1988).
122. **Mannini, F., R. J. Weaver, and J. O. Johnson.** Effects of early bloom sprays of ethephon on irrigated and non-irrigated vines of Zinfandel grapes. *Am. J. Enol. Vitic.* 32:277-9 (1981).
123. **Marois, J. J., J. K. Nelson, J. C. Morrison, L. S. Lile, and A. M. Bledsoe.** The influence of berry contact within grape clusters on the development of *Botrytis cinerea* and epicuticular wax. *Am. J. Enol. Vitic.* 37:293-6 (1986).
124. **Matthews, M. A., and M. W. Anderson.** Fruit ripening in *Vitis vinifera* L.: responses to seasonal water deficits. *Am. J. Enol. Vitic.* 39:313-20 (1988).
125. **Matthews, M. A., M. M. Anderson, and H. R. Schultz.** The response of fruit growth and solute accumulation to water deficits in *Vitis vinifera*. *HortScience* 21(3), Abstract No. 510 (1986).
126. **Matsui, S., K. Ryugo, and W. M. Kliewer.** Growth inhibition of Thompson Seedless and Napa Gamay berries by heat stress and its partial reversibility by applications of growth regulators. *Am. J. Enol. Vitic.* 37:67-71 (1986).
127. **May, P., and A. J. Antcliff.** The effect of shading on fruitfulness and yield of Sultana. *J. Hortic. Sci.* 38:85-94 (1963).
128. **May, P., N. J. Shaulis, and A. J. Antcliff.** The effect of controlled defoliation in the Sultana vine. *Am. J. Enol. Vitic.* 20:237-50 (1969).
129. **Miele, H., R. J. Weaver, and J. Johnson.** Effect of potassium gibberellate in fruit set and development of Thompson Seedless and Zinfandel grapes. *Am. J. Enol. Vitic.* 29:79-82 (1978).
130. **Morlat, R.** Le terroir viticole. Contribution a l'étude de sa caractérisation et de son influence sur les vins. Application aux vignobles rouges de Moyenne Vallée de la Loire. Thèse Doctorat d'Etat. Université de Bordeaux 289 pp. (1989).
131. **Morris, J. R., and D. L. Cawthon.** Yield and quality response of Concord grapes (*Vitis labrusca* L.) to mechanized vine pruning. *Am. J. Enol. Vitic.* 2:280-2 (1981).
132. **Morris, J. R., and D. L. Cawthon.** The effect of irrigation, fruit load, and potassium fertilization on yield, quality, and petiole analysis of Concord *Vitis labrusca* L.) grapes. *Am. J. Enol. Vitic.* 33:145-8 (1982).
133. **Morris, J. R., C. A. Sims, and D. L. Cawthon.** Effects of excessive potassium levels on pH, acidity and color of fresh and stored grape juice. *Am. J. Enol. Vitic.* 34:35-9 (1983).
134. **Morris, J. R., S. E. Spayd, and D. L. Cawthon.** Effects of irrigation, pruning severity and nitrogen levels on yield and juice quality of Concord grapes. *Am. J. Enol. Vitic.* 34:229-33 (1983).
135. **Morrison, J. C.** The effects of shading on the composition of Cabernet Sauvignon grape berries. *In: Proceedings of the 2nd International Symposium for Cool Climate Viticulture and Oenology, Auckland, N.Z.* R. E. Smart, R. J. Thornton, S. B. Rodriguez, and J. E. Young (Eds.) pp 144-6 (1988).
136. **Morrison, J. C., and A. C. Noble.** The effect of leaf and cluster shading in the composition of Cabernet Sauvignon grapes and on fruit and wine sensory properties. *Am. J. Enol. Vitic.* 41:193-200 (1990).
137. **Neilson, G. H., D. S. Stevenson, and A. Gehring.** The effect of NPK fertilization on element uptake, yield and fruit composition of Foch grapes of British Columbia. *Can. J. Plant Sci.* 67:511-20 (1987).
138. **Norton, K. E.** Effect of leaf removal on grape composition of Chardonnay in Oregon. M. S. Thesis, Oregon State University (1987).
139. **Ough, C. S., and H. W. Berg.** Powdery mildew sensory effect on wine. *Am. J. Enol. Vitic.* 30:321 (1979).
140. **Ough, C. S., L. A. Lider, and J. A. Cook.** Rootstock-scion interactions concerning wine making. I. Juice composition changes and effects on fermentation rate with St. George and 99R rootstock at two nitrogen fertilizer levels. *Am. J. Enol. Vitic.* 19:213-27 (1968).
141. **Ough, C. S., and R. Nagaoka.** Effect of cluster thinning and vineyard yields on grape and wine composition and wine quality of Cabernet Sauvignon. *Am. J. Enol. Vitic.* 35:30-4 (1984).
142. **Ough, C. S., D. Stevens, and J. Almy.** Preliminary comments on effects of grape vineyard nitrogen fertilization on the subsequent ethyl carbamate formation in wines. *Am. J. Enol. Vitic.* 40:219-20 (1989).
143. **Peterson, J. R., and R. E. Smart.** Foliage removal effects on "Shiraz" grapevines. *Am. J. Enol. Vitic.* 26:119-24 (1975).
144. **Pirie, A. J. G.** Phenolics Accumulation in Red Wine Grapes (*Vitis vinifera* L.). PhD Thesis, University of Sydney (1977).
145. **Powers, J. R., E. A. Shively, and C. W. Nagel.** Effect of ethephon on color of Pinot noir fruit and wine. *Am. J. Enol. Vitic.* 31:203-5 (1980).

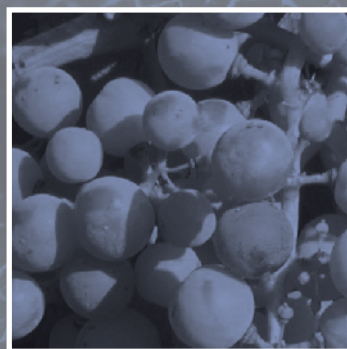
146. **Pszczolkowski, P., A. Morales, and S. Cava.** Composición química y calidad de mostos y vino obtenidos de racimos diferentemente asoleados. *Ciencia Investigación Agraria* 12:181-8 (1985).
147. **Pszczolkowski, P., M. I. Quiroz, and A. M. Salvatierra.** Efecto de la época y número de chapodas en parronales viníferos, sobre la luminosidad, productividad y calidad del mosto y vino II temporada. *Ciencia y Investigación Agraria* 12:37-48 (1985).
148. **Rankine, B. C., J. C. M. Fornachon, E. N. Boehm, and K. M. Cellier.** The influence of grape variety, climate and soil on grape composition and quality of table wines. *Vitis* 10:33-50 (1971).
149. **Reynolds, A. G.** "Riesling" grapes respond to cluster thinning and shoot density manipulation. *J. Am. Soc. Hortic. Sci.* 114:364-8 (1989).
150. **Reynolds, A. G., R. M. Pool, and L. R. Mattick.** Influence of cluster exposure on fruit composition and wine quality of Seyval blanc grapes. *Vitis* 25:85-95 (1985).
151. **Reynolds, A. G., and D. A. Wardle.** Canopy microclimate of Gewürztraminer and monoterpene levels. *In: Proceedings of the 2nd International Symposium for Cool Climate Viticulture and Oenology, Auckland, N.Z.* R. E. Smart, R. J. Thornton, S. B. Rodriguez, and J. E. Young (Eds.) pp 116-22 (1988).
152. **Reynolds, A. G., and D. A. Wardle.** Impact of various canopy manipulation techniques on growth, yield, fruit composition and wine quality of Gewürztraminer. *Am. J. Enol. Vitic.* 40:121-9 (1989).
153. **Reynolds, A. G., and D. A. Wardle.** Effects of timing and severity of summer hedging on growth, yield, fruit composition, and canopy characteristics of de Chaunac. II. Yield and fruit composition. *Am. J. Enol. Vitic.* 40:299-308 (1989).
154. **Ribéreau-Gayon, G.** Les modalités de l'action de *Botrytis cinerea* sur la baie de raisin. *Vitis* 2:113-116 (1960).
155. **Ribéreau-Gayon, G., and E. Peynaud.** *Traite d'Oenologie.* Béranger, Paris (1964).
156. **Rojas-Lara, B. A., and J. C. Morrison.** Differential effects of shading fruit or foliage on the development and composition of grape berries. *Vitis* 28:199-208 (1989).
157. **Rosner, N., and J. A. Cook.** Effects of differential pruning on Cabernet Sauvignon grapevines. *Am. J. Enol. Vitic.* 34:243-8 (1983).
158. **Schaeffer, A.** Wine quality as influenced by grape maturity, clonal selection and processing techniques: Experience with Alsace grapes. *In: Proceedings of the International Symposium on Cool Climate Viticulture and Enology.* D. A. Heatherbell, P. B. Lombard, F. W. Bodyfelt, and S. F. Price (Eds.) Eugene, Oregon. Oregon State University Experiment Station Technical Publication No. 7628 pp 274-91 (1985).
159. **Schneider, C.** Influence de la suppression des entre couers de souches de vigne sur la microclimat lumineux et la récolte. *Connaissance de la Vigne et du Vin.* 19:17-30 (1985).
160. **Seguin, G.** Influence des terroirs viticoles sur la constitution et la qualité des vendages. *Bull. OIV* 56:3-18 (1983).
161. **Seguin, G.** "Terroirs" and pedology of wine growing. *Experientia* 42:861-73 (1986).
162. **Sepulveda, G., and W. M. Kliewer.** Stomatal response of three grapevine cultivars (*Vitis vinifera* L.) to high temperature. *Am. J. Enol. Vitic.* 37:44-52 (1986).
163. **Shaulis, N. J., H. Amberg, and D. Crowe.** Response of Concord grapes to light exposure, and Geneva double curtain training. *Proc. Am. Soc. Hortic. Sci.* 89:268-80 (1966).
164. **Shaulis, N., and P. May.** Response of Sultana vines to training on a divided canopy and to shoot crowding. *Am. J. Enol. Vitic.* 22:215-22 (1971).
165. **Shulman, Y., S. Cohen, and C. Loinger.** Improved maturation and wine quality of Carignane grapes by ethephon treatments. *Am. J. Enol. Vitic.* 36:264-7 (1985).
166. **Singleton, V. L., M. Salgues, J. Zaya, and E. Trousdale.** Caftaric acid disappearance and conversion to products of enzymic oxidation in grape must and wine. *Am. J. Enol. Vitic.* 36:50-6 (1985).
167. **Singleton, V. L., and E. Trousdale.** White wine phenolics: varietal and processing differences as shown by HPLC. *Am. J. Enol. Vitic.* 34:27-34 (1983).
168. **Sinton, T. H., C. S. Ough, J. J. Kissler, and A. N. Kasimatis.** Grape juice indicators for prediction of potential wine quality. I. Relationships between crop level, juice and wine composition and wine sensory rating and scores. *Am. J. Enol. Vitic.* 29:267-71 (1978).
169. **Smart, R. E.** Sunlight interception by vineyards. *Am. J. Enol. Vitic.* 24:141-7 (1973).
170. **Smart, R. E.** Vine manipulation to improve wine grape quality. *In: Proceedings of the Grape and Wine Centennial Symposium, University of California, Davis, California, A. D. Webb (Ed.)* pp. 362-375 (1982).

171. **Smart, R. E.** Canopy microclimates and effects on wine quality. *In: Advances in viticulture and oenology for economic gain. Proceedings of the Fifth Australian Wine Industry Technical Conference, Perth.* T. H. Lee and T. C. Somers (Eds.) pp 113-32 (1984).
172. **Smart, R. E.** Principles of grapevine canopy microclimate manipulation with implications for yield and quality. A review. *Am. J. Enol. Vitic.* 36:230-9 (1985).
173. **Smart, R. E.** Some aspects of climate, canopy microclimate, wine physiology and wine quality. *In: Proceedings of the International Symposium on Cool Climate Viticulture and Enology, Eugene, Oregon.* D. A. Heatherbell, P. B. Lombard, F. W. Bodyfelt, and S. F. Price (Eds.). Oregon State University Experiment Station Technical Publication No. 7628 pp 1-19 (1985).
174. **Smart, R. E.** Canopy management to improve yield, fruit composition and vineyard mechanization: A review. *In: Proceedings of the Sixth Australian Wine Industry Technical Conference, Adelaide.* T. H. Lee (Ed.) pp. 205-11 (1987).
175. **Smart, R. E.** Influence of light on composition and quality of grapes. *Acta Horticulture* 206:37-47 (1987).
176. **Smart, R. E., and B. G. Coombe.** Water relations of grapevines. *In: Water Deficits and Plant Growth. Vol. VII. Additional Woody Crop Plants.* T. T. Kozlowski (Ed.) pp 137-96 Academic Press. New York (1983).
177. **Smart, R. E., J. K. Dick, I. M. Gravett, and B. M. Fisher.** Canopy management to improve yield and quality – principles and practices. *S. Afr. J. Enol. Vitic.* 11:3-17 (1991).
178. **Smart, R. E., J. K. Dick, and S. M. Smith.** Introducing the Ruakura twin two tier trellis. *Austral. NZ Wine Indust. J.* 4:109-13 (1989).
179. **Smart, R. E., and P. R. Dry.** A climatic classification for Australian viticultural regions. *Austral. Grape-grower Winemaker* 17(196):8-10, 16 (1980).
180. **Smart, R. E., J. B. Robinson, G. R. Due, and C. J. Brien.** Canopy microclimate manipulations for the cultivar Shiraz. I. Definition of canopy microclimate. *Vitis* 24:17-31 (1985).
181. **Smart, R. E., J. B. Robinson, G. R. Due, and C. J. Brien.** Canopy microclimate manipulations for the cultivar Shiraz. II. Effects on must and wine composition. *Vitis* 24:119-28 (1985).
182. **Smart, R. E., N. J. Shaulis, and E. R. Lemon.** The effect of Concord vineyard microclimate on yield. I. The effect of pruning, training, and shoot positioning on radiation microclimate. *Am. J. Enol. Vitic.* 33:99-108 (1982).
183. **Smart, R. E., and S. M. Smith.** Canopy management: identifying the problems and practical solutions. *In: Proceedings of the 2nd International Symposium for Cool Climate Viticulture and Oenology, Auckland, N.Z.* R. E. Smart, R. J. Thornton, S. B. Rodriguez, and J. E. Young (Eds.) pp 109-15 (1988).
184. **Smart, R. E., S. M. Smith, and R. V. Winchester.** Light quality and quantity effects on fruit ripening for Cabernet Sauvignon. *Am. J. Enol. Vitic.* 39:250-8 (1988).
185. **Smith, S., I. C. Codrington, M. Robertson, and R. E. Smart.** Viticultural and oenological implications of leaf removal for New Zealand vineyards. *In: Proceedings of the Second International Symposium for Cool Climate Viticulture and Oenology, Auckland, NZ.* R. E. Smart, R. J. Thornton, S. B. Rodriguez, and J. E. Young (Eds.). pp 127-33. (1988).
186. **Solari, C., O. Silvestroni, P. Guidici, and C. Intriari.** Influence of topping on juice composition of Sangiovese grapevines (*Vitis vinifera* L.). *In: Proceedings of the Second International Symposium for Cool Climate Viticulture and Oenology, Auckland, NZ.* R. E. Smart, R. J. Thornton, S. B. Rodriguez, and J. E. Young (Eds.). pp 147-51. (1988).
187. **Somers, T. C.** In search of quality for red wines. *Food Tech. Austral* 27:49-56 (1975).
188. **Sotomayor, S. J. P., and M. A. Lavin.** Riego por goteo subre dos tipos de viedos cv. Pais, en el secano interior de Cauquenes. II. Efectos sobre les características de vino. *Agricultura Technica* 44:21-5 (1984).
189. **Stefano, R. Di, L. Corina, and P. D. Bosia.** Evoluzione dei composti terpenici del Moscato Bianco durante la maturazione, in relazione alla carica gemmaria. *Rivista di Viticoltura e di Enologia* 36:263-79 (1983).
190. **Stevens, R. M., and P. J. Cole.** Grape must composition depends on irrigation management, *In: Proceedings of the Sixth Australian Wine Industry Conference, Adelaide.* T. H. Lee (Ed.) pp 159-64 (1987).
191. **Strauss, C. R., G. Wilson, and P. J. Williams.** Flavour of non-muscat varieties. *In: Proceedings of the Sixth Australian Wine Industry Conference, Adelaide.* T. H. Lee (Ed.) pp 117-21 (1987).
192. **Szyjewicz, E., and W. M. Kliewer.** Influence of timing of ethephon application on yield and fruit composition of Chenin blanc grapevines. *Am. J. Enol. Vitic.* 34:53-6 (1983).

193. **Takahashi, K., M. Kuranaka, A. Miyagawa, O. Takeshita.** The effect of wind on grapevine growth; windbreaks for vineyards. *Bull. Shimane Agric. Exp. Sta.* 14:39-83 (1976).
194. **Troost, G.** *Technologie des Weines.* Verlag Eugen Ulmer, Stuttgart (1972).
195. **Ureta, C. F., and O. L. Yavar.** Influence de quelques pratiques culturales sur la qualité des raisons. *Connaissance de la Vigne et du Vin.* 16:187-93 (1982).
196. **Wahl, K.** Climate and soil effects on grapevine and wine: The situation on the northern border of viticulture- the example Franconia. *In: Proceedings of the Second International Symposium for Cool Climate Viticulture and Oenology, Auckland, NZ.* R. E. Smart, R. J. Thornton, S. B. Rodriguez, and J. E. Young (Eds.). pp 1-5. (1988).
197. **Watson, B., P. Lombard, S. Price, M. McDaniel, and D. Heatherbell.** Evaluation of Pinot noir clones in Oregon. *In: Proceedings of the Second International Symposium for Cool Climate Viticulture and Oenology, Auckland, NZ.* R. E. Smart, R. J. Thornton, S. B. Rodriguez, and J. E. Young (Eds.). pp 276-8 (1988).
198. **Weaver, R. J.** Effect of time of application of potassium gibberellate on cluster development of Zinfandel grapes. *Vitis* 14:97-102 (1975).
199. **Weaver, R. J., and R. Montgomery.** Effect of ethephon on coloration and maturation of wine grapes. *Am. J. Enol. Vitic.* 25:39-41 (1974).
200. **Weaver, R. J., and R. M. Pool.** Effect of (2-chloroethyl) phosphonic acid (ethephon) on maturation of *Vitis vinifera*. *J. Am. Soc. Hortic. Sci.* 96:725-7 (1971).
201. **Westwood, M. N.** *Temperature Zone Pomology.* Freeman and Co., San Francisco. (1978).
202. **Williams, P. J., C. R. Strauss, A. P. Aryan, and B. Wilson.** Grape flavour -a review of some pre- and post-harvest influences. *In: Proceedings of the Sixth Australian Wine Industry Conference, Adelaide.* T. H. Lee (Ed.). pp 111-16. (1987).
203. **Williams, P. J., C. R. Strauss, and B. Wilson.** Classification of the monoterpenoid composition of muscat grapes. *Am. J. Enol. Vitic.* 32:230-5 (1981).
204. **Winkler, A. J.** Effects of overcropping. *Am. J. Enol. Vitic.* 5:4-12 (1954).
205. **Winkler, A. J., J. A. Cook, W. M. Kliewer, and L. A. Lider.** *General viticulture.* University of California Press, Berkeley (1974).
206. **Wolf, T. K., B. W. Zoecklein, M. K. Cook, and C. K. Cottingham.** Shoot topping and ethephon effects on White Riesling grapes and grapevines. *Am. J. Enol. Vitic.* 41:330-41 (1990).
207. **Wolpert, J. A., G. S. Howell, and T. K. Mansfield.** Sampling Vidal Blanc grapes. I. Effect of training system, pruning severity, shoot exposure, shoot origin and cluster thinning on cluster weight and fruit quality. *Am. J. Enol. Vitic.* 34:72-6 (1983).
208. **Yamakawa, Y., and M. Moriya.** Ripening changes in some constituents of virus-free Cabernet Franc grapevine berries. *J. Japan Soc. Hortic. Sci.* 52:16-21 (1983).
209. **Zoecklein, B. W., T. K. Wolf, N. W. Duncan, J. M. Judge, and M. K. Cook.** Effects of fruit zone leaf removal on yield, fruit composition, and fruit rot incidence of Chardonnay and White Riesling (*Vitis vinifera* L.) grapes. *Am. J. Enol. Vitic.* 43:139-45 (1992).



II.5. Estimación y control de la calidad de la uva en el viñedo



- 109** II.5.1. Estado actual del conocimiento sobre la evaluación del viñedo y la calidad de la uva
- 110** II.5.2. Estimación de la calidad de la uva mediante la ficha vitor
- 110** II.5.3. Estimación mediante 2 parámetros sencillos, objetivos y precisos
- 114** II.5.4. Propuesta de un nuevo índice vitícola
- 115** II.5.5. Referencias bibliográficas
- 115** II.5.6. Artículos relacionados



Fernando MARTÍNEZ DE TODA
Catedrático de Viticultura
Universidad de La Rioja

II.5.1. Estado actual del conocimiento sobre la evaluación del viñedo y la calidad de la uva

Para el sector vitivinícola sería muy positivo disponer de un método para evaluar la calidad de la uva a través de un procedimiento rápido y fiable. En la actualidad no existe un único método global de evaluación de la calidad en campo o en la fase de recepción de la uva en la bodega aceptado por todo el sector vitivinícola. Numerosas bodegas utilizan sólo uno o varios parámetros para evaluar la calidad de la uva, lo cual no es la mejor forma de proceder, ya que es un sistema demasiado simplificado, con el que no es posible establecer una estrecha relación con la calidad final de la uva y del vino.

En los últimos años se han desarrollado diferentes métodos para la determinación de múltiples parámetros físico-químicos en la uva y el mosto (Dubernet y Dubernet, 1999), pero su aplicación práctica es compleja. Recientemente, el análisis sensorial de la uva se ha presentado como un método interesante para estimar la calidad de la uva antes de la vinificación (Winter et al., 2004).

La evaluación de la calidad del viñedo, se basa en evaluar la "canopy" entendida como el sistema de hojas, pámpanos y frutos de la planta (la denominaremos "vegetación"). El manejo o gestión de la vegetación o "canopy management" (así llamada en el mundo anglosajón) en los últimos años ha pasado de ser un conjunto de técnicas más o menos codificadas a ser una nueva área de investigación. El Profesor Shaulis propuso por primera vez los conceptos generales del "canopy management", pero posteriormente han sido desarrollados, aplicados y difundidos por el investigador australiano Richard Smart (Smart y Robinson, 1991) y más tarde aplicados en USA, Francia e Italia.

En relación con la estimación de la calidad de la uva en el viñedo, Smart propuso y desarrolló la aplicación de una primera ficha de evaluación (Smart y Robinson, 1991). Más tarde, en Australia, Gray et al., (1994 y 1997) intentaron identificar diferentes características del viñedo que estuvieran asociadas con la calidad de la uva y, como consecuencia, con la calidad del vino, pero no consiguieron buenos resultados. Sobre estos aspectos, Krstic et al. (2003) han publicado un interesante libro abordando la producción de uva

de calidad y su estimación y se está trabajando en la mejora de los métodos de estimación de la calidad (Allan, 2003). En Europa, son varios los investigadores que han abordado la evaluación de la calidad de la uva en el viñedo, especialmente en Francia (Carbonneau, 1995) e Italia (Bertamini et al., 1994).

El desarrollo de la investigación sobre la caracterización ecofisiológica del viñedo en los últimos años, en todo el mundo, ha conducido a proponer 5 parámetros vitícolas como los más importantes para definir un viñedo equilibrado y capaz de producir uvas y vinos de alta calidad (Kliewer y Dokoozlian, 2005). Los 5 parámetros, y sus rangos, propuestos por los citados autores son los siguientes: Superficie foliar total/producción de uva (SFT/P): entre 0,8 y 1,2 m²/kg; Producción de uva/peso madera poda (P/Pm): entre 4 y 10; Peso madera poda/metro lineal vegetación (Pm/m): entre 0,5 y 1,0 kg/m; Superficie foliar total/metro lineal vegetación (SFT/m): entre 2 y 5 m²/m; Densidad foliar (SFT/V): entre 3 y 7 m²/m³.

Para producciones vitícolas de muy alta calidad, es decir, con un nivel de exigencia mayor, se ha demostrado el interés de otras 2 variables adicionales: la exposición de la superficie foliar y la observación visual del viñedo a través de alguna ficha de evaluación (Smart y Robinson, 1991; Carbonneau, 1995; Mabrouk y Sinoquet, 1998).

La mayor parte de estos trabajos han afrontado problemáticas típicas del Nuevo Mundo, es decir, viñedo en zonas fértiles, con abundante agua a su disposición, y en consecuencia, con un elevado vigor. No obstante, los principios en los que se basan estas técnicas son generalizables, ya que hacen referencia a precisos conocimientos de la fisiología y el metabolismo de la vid. Para la viticultura mediterránea también sería importante disponer de algunos métodos para diagnosticar la calidad de la uva en campo e identificar los posibles problemas que pueden surgir durante el desarrollo vegetativo y productivo de la planta; de este modo se podría conseguir incrementar la calidad de la producción vitivinícola.

Con este objetivo, en los últimos años y en diversas experiencias de estimación de la calidad de la uva en el viñedo, hemos trabajado en el desarrollo de varias

técnicas: la aplicación de la ficha Vitur para la evaluación visual del viñedo (Tardáguila y Martínez de Toda, 2004; Tardáguila et al. 2004; Tardáguila y Martínez de Toda, 2005), la relación entre la superficie foliar externa y la producción de uva (SFE/P) (Smart y Robinson, 1991) y el establecimiento de un nuevo índice, al que hemos denominado Índice de Toda y que viene expresado por la relación entre el parámetro SFE/P y la longitud del sarmiento (Ls) (Martínez de Toda et al., 2007; Martínez de Toda, 2008).

En los apartados siguientes procedemos a la presentación detallada de estas nuevas técnicas.

II.5.2. Estimación de la calidad de la uva mediante la ficha vitur

Con el objetivo de poner a punto una técnica de evaluación visual de la calidad de la uva en el viñedo, comenzamos hace unos años a trabajar en diversas experiencias sobre la estimación de la calidad de la uva en viñedos de la DOCa Rioja. Como resultado de esas experiencias propusimos una ficha (Tardáguila y Martínez de Toda, 2005), que denominamos Ficha Vitur (Vit de Viticultura y ur de Universidad de La Rioja) y que es objeto de la publicación adjunta, al final de este texto, como Artículo 1.

En la Ficha Vitur se contemplan varios parámetros vitícolas con 3 niveles de puntuación (de 1 a 3) y diferentes factores de ponderación (de 2 a 5). El resultado final de la ficha nos da la puntuación global de la calidad del viñedo. Los 11 parámetros analizados son los siguientes: relación superficie foliar expuesta/producción de uva, capas foliares, estado de las hojas, disponibilidad hídrica, parada de crecimiento, vigor, estado sanitario de los frutos, exposición de los frutos, tamaño y compacidad de los racimos, coloración de los racimos y tamaño de la baya. La aplicación de la Ficha Vitur se hace en el período de maduración de la uva.

En el Artículo 1 presentamos los resultados de la aplicación de la ficha Vitur en diferentes viñedos de la DOCa Rioja. La puntuación global de la ficha Vitur es el parámetro que presenta la mejor correlación significativa con antocianos totales y extraíbles, polifenoles totales, grado probable, acidez total y ácidos málico y tartárico de la uva. Estos resultados indican que la ficha Vitur puede ser utilizada como método de estimación de la calidad de la uva en el viñedo.

La metodología básica representada por la ficha Vitur, aunque necesita mayor número de estudios y adaptaciones más concretas, constituye un método sencillo y rápido para complementar, desde el viñedo, la estimación de la calidad global de la uva.

Conviene destacar que esta ficha que proponemos no es definitiva ni constituye el punto final en la eva-

luación visual del viñedo; al contrario, es una base, o propuesta inicial, que puede servir como orientación pero que convendrá adaptar a cada situación concreta en función de la variedad, de las condiciones de medio y de los objetivos de producción. Por ejemplo, habrá años o situaciones vitícolas en los que el estado sanitario del racimo no aportará información relevante debido al perfecto estado sanitario de la práctica totalidad de la uva y habrá otros años u otras condiciones en las que este parámetro será muy determinante en la calidad final de la uva. Así, es muy interesante el no considerar los diferentes niveles y factores de ponderación propuestos como absolutos o fijos, sino adaptables a cada situación concreta.

Ejemplos como el citado para el estado sanitario del racimo podrían exponerse para la disponibilidad hídrica, el vigor, la exposición de los frutos, etc. que también pueden variar enormemente entre años y situaciones vitícolas particulares.

Otro de los parámetros importantes, y que no hemos considerado en esta ficha, es el nivel de agostamiento de los pámpanos; no lo hemos introducido porque consideramos que puede ser muy variable en función de la variedad y de las condiciones de cultivo, pero también es un parámetro digno de tener en cuenta y de valorar en cada situación concreta. En general, un mayor nivel de agostamiento está relacionado con una maduración más completa.

Otro aspecto importante de esta ficha es que no sólo sirve para estimar la calidad de la uva, cuando se aplica en las proximidades de la vendimia; si se aplica en un momento anterior, por ejemplo en agosto, nos da una información muy valiosa sobre el estado del cultivo y podremos corregir determinados parámetros que no muestren valores adecuados como pueden ser el crecimiento del pámpano, a través de una gestión adecuada del riego, o la exposición de los racimos, a través de la operación de deshojado, o la relación entre la superficie foliar expuesta y la producción, mediante el aclareo de racimos.

II.5.3. Estimación mediante 2 parámetros sencillos, objetivos y precisos

La principal limitación para la aplicación de una ficha de evaluación visual del viñedo, como la ficha Vitur, radica en su subjetividad por lo que sería muy interesante encontrar algún parámetro objetivo, y fácil de medir en el viñedo, que pudiera sustituir a dicha evaluación visual subjetiva y que aportara el mismo tipo de información, es decir, que estuviera altamente correlacionado con dicha evaluación visual.

Así, el objetivo de esta nueva técnica de estimación es el de diseñar y aportar una herramienta útil y práctica, a nivel de parcela, para que tanto el viticultor como el técnico puedan determinar, fácilmente, si el viñedo

cumple las condiciones de producción de uva de la más alta calidad; sería algo así como el establecimiento de las "condiciones técnicas mínimas de cultivo para producir uva de la más alta calidad".

En primer lugar, hay que destacar que esta propuesta de estimación de la calidad está diseñada bajo 2 condiciones previas muy importantes:

1ª.- Intento de selección de una pequeña proporción de los viñedos de más alta calidad potencial.

Esta primera condición es muy importante porque, si no fuésemos tan restrictivos, los niveles de los parámetros propuestos podrían ser menos exigentes.

2ª.- Necesidad de aplicar criterios objetivos y fáciles de medir por el técnico e, incluso, por el propio viticultor.

Esta segunda condición nos obliga a que los parámetros propuestos sean lo más sencillos, objetivos y precisos posibles.

De toda la exposición anterior sobre la calidad de la uva y las claves de la viticultura de calidad se desprenden que existen 2 parámetros fundamentales para garantizar el potencial cualitativo del viñedo:

1º.- La relación entre la superficie foliar expuesta y la producción de uva (SFE/P).

2º.- El vigor del viñedo.

Estos son los 2 parámetros que proponemos y que desarrollamos a continuación concretando sus valores óptimos.

II.5.3.1. Relación entre la superficie foliar expuesta y la producción de uva (SFE/P)

En el Artículo 2 se muestran algunos resultados de la relación existente entre el parámetro SFE/P, la puntuación obtenida mediante la ficha Vitur y la composición de la uva en diferentes viñedos de la DOCa Rioja. Dichos resultados indican que el parámetro SFE/P es un buen estimador de la calidad de la uva en el viñedo.

La relación entre la superficie foliar expuesta (hojas normalmente sanas y activas) y la producción de uva (en perfecto estado sanitario) ha de ser superior a 1,3 m²/kg en los tipos de conducción con vegetación libre (como el vaso y el cordón libre) y superior a 1,5 m²/kg en los tipos de conducción con vegetación dirigida (como la espaldera clásica). Dichas relaciones deben cumplirse desde el envero hasta la maduración completa, es decir, durante todo el período de maduración de la uva.

En los tipos de conducción libres, la superficie foliar expuesta "real" o "efectiva" es mayor que la estimada a tra-

vés de su perímetro o contorno externo, ya que dicho contorno es mucho más heterogéneo que en la espaldera clásica y, además, no hay que olvidar el efecto del viento que, al actuar sobre una vegetación libre, provoca la iluminación intermitente de hojas no situadas en la periferia de la vegetación. Como expondremos un poco más adelante, la vegetación dirigida (típica de la conducción en espaldera) realiza menos fotosíntesis que la vegetación libre (propia de la conducción en vaso) para el mismo nivel de radiación solar. Esta es la razón por la que considero que las necesidades de superficie foliar expuesta, determinada mediante el contorno de la vegetación, en estos tipos de conducción con vegetación libre, son menores que para el caso de la espaldera clásica (1,1 m²/kg en tipos de conducción libres frente a 1,3 m²/kg en espalderas clásicas).

Teniendo en cuenta los valores de superficie foliar expuesta habituales en los sistemas de conducción utilizados en nuestro viñedo, tanto en lo que respecta a la densidad de plantación como a los tipos de conducción, para cumplir esa relación, la producción estaría, en general, doblemente limitada en torno a 2 kg/cepa y 7.000 kg/ha, con una superficie foliar expuesta mínima de 3 m²/cepa y 10.500 m²/ha para el caso de la espaldera y de 2,6 m²/cepa y 9.100 m²/ha para el caso del vaso.

Pero es muy importante aclarar que, con otros sistemas de conducción como, por ejemplo, una mayor densidad de plantación y con la vegetación muy bien expuesta, la producción podría ser mayor siempre que se cumpla la relación SFE/P > 1,5 o SFE/P > 1,3, según el tipo de vegetación dirigido o libre, lo cual no es tan fácil para elevadas producciones, aunque sí es posible con sistemas de conducción más sofisticados que los nuestros.

Esta relación nos garantiza unas altas posibilidades de síntesis por las hojas para la producción prevista y un potencial cualitativo del viñedo muy elevado.

Opciones en los niveles de exigencia

Si se quiere que la propuesta tenga un menor nivel de exigencia, y que puedan acogerse más viñedos, se podría rebajar la anterior relación en un 10-20% quedando 1,3 m²/kg para la espaldera clásica y 1,1 m²/kg para la conducción libre, en vaso.

Por el contrario, si se quiere elevar el nivel de exigencia (aunque puede resultar excesivo) se podría exigir, además de las relaciones SFE/P establecidas, el que la producción de uva esté repartida en un número mínimo de racimos por cepa, por ejemplo 8-10 racimos, para garantizar un tamaño máximo del racimo, por ejemplo un máximo de 250 g/racimo, lo cual obligaría al viticultor, si sus racimos son más grandes (que es lo habitual), a eliminar partes de racimo mediante el aclareo y, esto, en principio lo consideramos excesivo.



Metodología sencilla para el cálculo de la superficie foliar expuesta

Para simplificar el cálculo, se entiende por superficie foliar expuesta la superficie externa de la vegetación, despreciando la parte inferior que nunca recibe radiación solar directa.

La superficie foliar expuesta depende de la forma de la vegetación, de sus dimensiones y perímetro externo y puede expresarse en metros cuadrados por cepa, por metro lineal de espaldera o, como es más frecuente y se ha hecho en estas figuras, en metros cuadrados por hectárea (m^2/ha).

La superficie foliar expuesta por hectárea dependerá de las dimensiones de la vegetación de la espaldera y de los metros lineales de espaldera que hay en una hectárea; juega, pues, un papel fundamental la distancia o separación entre las filas de la espaldera.

En los tipos de conducción libre, en vaso o en cordón libre, el cálculo es un poco más complejo porque la vegetación no es tan regular como en la espaldera ya que depende del porte de la variedad, del vigor y de la modalidad de ejecución de la técnica de despunte; para su cálculo habrá que adoptar la forma geométrica que mejor se adapte a la vegetación (truncos de cono invertidos, semiesferas o semicilindros) y conocer sus dimensiones para calcular la superficie foliar expuesta o externa. Otra posibilidad de trabajar con estos tipos de conducción libre consiste en calcular, no la superficie foliar expuesta, sino la superficie foliar total y aplicar unos coeficientes en función de la densidad foliar de la vegetación.

Además, en estos tipos de conducción, al ser libres, la superficie foliar expuesta "real" o "efectiva" es mayor que la estimada a través de su perímetro o contorno externo, ya que dicho contorno es mucho más heterogéneo que en la espaldera clásica y, además, no hay que olvidar el efecto del viento que, al actuar sobre una vegetación libre, provoca la iluminación intermitente de hojas no situadas en la periferia de la vegetación. Poni e Intriery (2001) demostraron que la vegetación dirigida (típica de la conducción en espaldera) realiza un 26% menos de fotosíntesis que la vegetación libre (propia de la conducción en vaso) para el mismo nivel de radiación solar. Esta es la razón por la que considero que las necesidades de superficie foliar expuesta, determinada mediante el contorno de la vegetación, en estos tipos de conducción con vegetación libre, son menores que para el caso de la espaldera clásica ($1,3 \text{ m}^2/\text{kg}$ en tipos de conducción libres frente a $1,5 \text{ m}^2/\text{kg}$ en espalderas clásicas).

De la superficie obtenida habrá que descontar, si existen, la proporción de huecos en la vegetación o de hojas deterioradas por clorosis, senescencia, sequía,

carencias pronunciadas, enfermedades, etc.

La producción se estima por conteo directo de racimos y aplicando un peso medio obtenido, o bien por pesada directa si estamos próximos a la vendimia, o bien por datos medios anteriores y conocidos para esa variedad y condiciones de cultivo en otras campañas.

La relación entre la superficie foliar expuesta (en m^2) y la producción de uva (en kg) se puede expresar por cepa, por metro lineal de espaldera o por ha, presentando, en cualquiera de las formas, siempre el mismo valor: SFE/P (m^2/kg).

II.5.3.2. Vigor del viñedo

Además de la relación anterior, si se quiere producir uva de la más alta calidad, hay que considerar también el vigor del viñedo; debe de haber un vigor mínimo que garantice el que exista la superficie foliar suficiente para cumplir la relación anteriormente expuesta, pero también debe de haber un vigor máximo para que no exista excesiva densidad foliar, para que los racimos estén en buenas condiciones microclimáticas y para que el equilibrio hormonal de la planta sea favorable para una adecuada maduración de la uva.

En el Artículo 2 presentamos los resultados de la relación negativa existente entre la longitud del pámpano, la puntuación obtenida mediante la ficha Vitur y la composición de la uva en diferentes viñedos de la DOCa Rioja. Dichos resultados indican que la longitud del pámpano es, también, un buen estimador de la calidad de la uva en el viñedo.

El problema más frecuente en el viñedo, en relación con el vigor, suele ser el exceso más que el defecto; por otro lado, un pequeño vigor se detecta y se corrige más fácilmente pero un exceso de vigor pasa más desapercibido y es más difícil de corregir.

La forma más fácil de estimar el vigor de un viñedo es a través de las dimensiones de sus pámpanos o sarmientos, en el período de maduración de la uva, habida cuenta de que el número de estos brotes es muy constante ya que depende de la carga dejada en la poda y está en torno a los 10-12 pámpanos por cepa o en torno a 8-10 pámpanos por metro lineal de vegetación (o metro lineal de las filas de viñedo).

Los límites de vigor son los siguientes:

- Longitud mínima del sarmiento: 90 cm
- Longitud máxima del sarmiento: 140 cm

Si el vigor se sitúa entre estos límites citados existe garantía de que el viñedo, por un lado, desarrolla una superficie foliar suficiente para una óptima madura-

ción de la uva y, por otro, no hay un vigor excesivo que produzca una gran densidad foliar, los racimos están mejor expuestos y se favorece, también a nivel hormonal, la maduración de la uva.

La mejor forma de estimar el vigor es a través de la longitud del sarmiento pero también puede hacerse mediante el peso del sarmiento o el peso de la madera de poda de la cepa. Si el viñedo está ya podado puede ser interesante estimar su vigor y, en este caso, se puede utilizar el diámetro máximo del segundo entrenudo del pulgar dejado en la poda.

Para conocer todos estos valores hemos calculado la relación que existe entre ellos en unos 60 sarmientos de diferentes variedades representativas de nuestra viticultura. Así, podemos expresar los límites de vigor no sólo en función de la longitud del sarmiento sino también en función de su peso, del diámetro máximo del segundo entrenudo y de la madera de poda por cepa:

Los límites de vigor, expresados de todas estas diferentes formas, son los siguientes:

- Longitud del sarmiento: Entre 90 y 140 cm
- Peso del sarmiento: Entre 30 y 65 g
- Diámetro máximo del segundo entrenudo: Entre 8,5 mm y 10,5 mm
- Peso madera de poda: Entre 0,3 y 0,78 kg/cepa.

Opciones en los niveles de exigencia

De la misma forma que hacíamos para el parámetro SFE/P, podemos disminuir o aumentar el nivel de exigencia en cuanto al vigor permitiendo longitudes del sarmiento mayores o menores en torno a un 10%. En este sentido, no parece necesario aumentar el nivel de exigencia (que ya es suficientemente alto) pero sí podría disminuirse aceptando longitudes máximas del sarmiento de 150 cm.

Metodología sencilla para la determinación del vigor del viñedo

La forma más fácil de estimar el vigor es a través de la longitud del sarmiento pero también puede hacerse mediante el peso del sarmiento o el peso de la madera de poda de la cepa. Si el viñedo está ya podado puede ser interesante estimar su vigor y, en este caso, se puede utilizar el diámetro máximo del segundo entrenudo del pulgar dejado en la poda.

Así, podemos expresar los límites de vigor no sólo en función de la longitud del sarmiento sino también en función de su peso, del diámetro máximo del segundo entrenudo y de la madera de poda por cepa:

Los límites de vigor, expresados de todas estas diferentes formas, son los siguientes:

- Longitud del sarmiento: Entre 90 y 140 cm
- Peso del sarmiento: Entre 30 y 65 g
- Diámetro máximo del segundo entrenudo: Entre 8,5 mm y 10,5 mm
- Peso madera de poda: Entre 0,3 y 0,8 kg/cepa.

En cuanto a la estimación a través de la longitud del sarmiento, que va a ser la más frecuentemente utilizada, conviene aclarar que hay que hacerla en la época de maduración, en las proximidades de la fecha de vendimia (aunque, si el viñedo está equilibrado, el sarmiento habrá dejado de crecer desde el envero). Si el sarmiento ha sido despuntado (y, como regla general, sólo se admitirá un único despunte), la longitud total a considerar será la suma del sarmiento principal más la longitud de los diferentes nietos desarrollados como consecuencia del despunte.

Además de la estimación del vigor a través de la longitud del sarmiento, que es una estimación objetiva, recordemos lo que exponíamos para la aplicación de la Ficha Vitur y es que la estimación de este vigor durante el período de maduración también puede hacerse observando los ápices de los pámpanos y de los nietos; si existe crecimiento, adoptan una forma en cayado típica y si, por el contrario, se ha detenido el crecimiento desaparece esa forma en cayado y el aspecto del ápice es recto y con una menor longitud de los entrenudos recién formados.

De forma complementaria, se puede considerar el tamaño y coloración de las hojas y su posible epinastia debido a un posible estrés hídrico. Todos estos aspectos también son contemplados en la Ficha Vitur, de la que ya hemos hablado anteriormente.

Resumen de la propuesta

Los viñedos capaces de producir uva de la más alta calidad han de cumplir las 2 condiciones siguientes:

1ª.- Relación SFE/P igual o mayor de 1,3 m²/kg en los tipos de conducción con vegetación libre, como el vaso, y de 1,5 m²/kg en los tipos de conducción con vegetación dirigida, como la espaldera clásica.

2ª.- Longitud del sarmiento entre 90 y 140 cm.

Cualquier viñedo, que cumpla las condiciones expuestas para estos 2 parámetros, presenta las condiciones objetivas para la producción de uva de la más alta calidad.



II.5.4. Propuesta de un nuevo índice vitícola

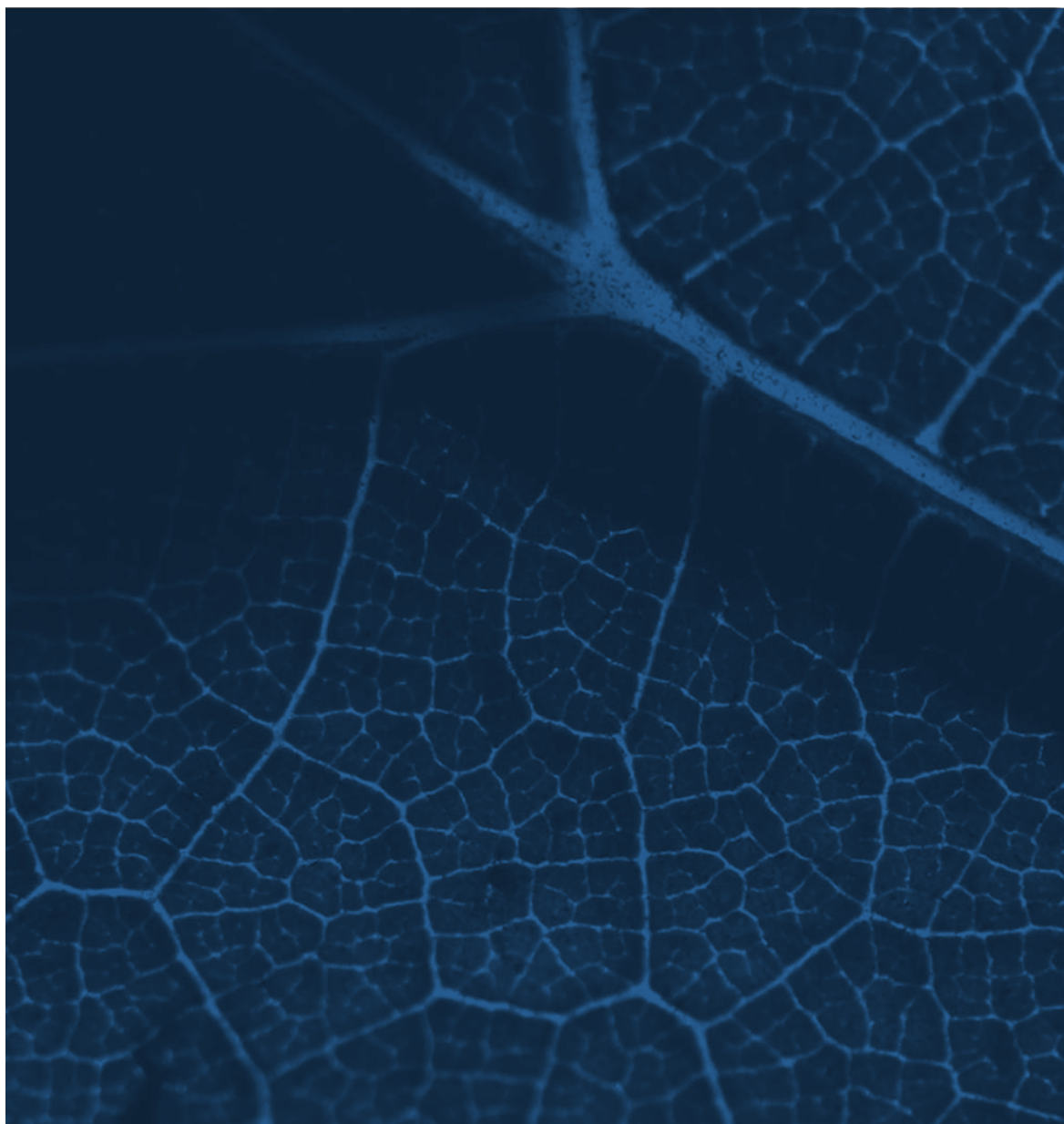
Decíamos, al hacer la presentación de los 2 parámetros anteriores, que la principal limitación para la aplicación de una ficha de evaluación visual del viñedo, como la ficha Vitur, radica en su subjetividad por lo que sería muy interesante encontrar algún parámetro objetivo, y fácil de medir en el viñedo, que pudiera sustituir a dicha evaluación visual subjetiva y que aportara el mismo tipo de información, es decir, que estuviera altamente correlacionado con dicha evaluación visual.

En el Artículo 2 hemos abordado este tema llegando a demostrar que, entre todos los parámetros ecofisiológicos medidos en el viñedo, la mejor correlación, altamente significativa, tanto con la composición fenólica de la uva como con la evaluación visual del viñedo, según la ficha Vitur, se obtiene al considerar las variables SFE/P y la Longitud del pámpano o sarmiento (Ls).

El parámetro SFE/P/Ls del viñedo, al que hemos denominado Índice de Toda, presenta muy buenos niveles de correlación con la composición fenólica de la uva por lo que puede ser utilizado para estimar dicha composición fenólica. A su vez, dicho índice presenta muy buena correlación con la evaluación de la calidad del viñedo a través de la ficha Vitur.

Así, en la estimación de la calidad del viñedo, es posible sustituir la evaluación visual mediante la ficha Vitur, necesariamente subjetiva, por la evaluación, más rápida y objetiva, del índice de Toda.

La principal ventaja de este nuevo índice es que es fácil de determinar y totalmente objetivo a diferencia de la estimación visual que presenta un alto grado de subjetividad. Para más detalles sobre los resultados de la aplicación de este nuevo índice vitícola se puede consultar el Artículo 2.



II.5.5. Referencias bibliográficas

Allan, W. 2003. Winegrape assessment in the vineyard and at the winery. *Aust. Vitic.*, 6:20-43.

Bertamini, M., Tardaguila, J. and Iacono, F. 1994. Valutazione dell'equilibrio vegeto-produttivo e microclimatico del vigneto per l'ottimizzazione delle tecniche colturali a verde: aspetti teorici e pratici. *Bollettino ISMA*, 2:24-40.

Carbonneau, A. 1995. La surface foliaire exposée potentielle. *Guide pour sa mesure. Progr. Agric. Vitic.*, 112, 9:204-212.

Dubernet, M. and Dubernet, M. 1999. Utilisation de l'analyse infrarouge multiparamétrique a transformée de Fourier oenologie de routine. *Rev. Française d'Oenologie*, 181:10-13.

Gray, J.D., Gibson, R.J., Coombe, B.G., Giles L.C., and Hancock, T.W. 1994. Assessment of winegrape quality value in the vineyard – a preliminary, commercial survey. *Aust. New Zealand Wine Industry J.*, 9/3:253-261.

Gray, J.D., Gibson, R.J., Coombe, B.G., Iland P.G., and Pattison, S.J., 1997. Assessment of winegrape quality value in the vineyard – Survey of cv. Shiraz from South Australian vineyards in 1992. *Aust. J. Grape Wine Res.*, 3:109-116.

Kliewer, W. M. and Dokoozlian, N.K. 2005. Leaf area/crop weight ratios of Grapevines: Influence on fruit composition and wine quality. *Am. J. Enol. Vitic.* 56: 170-181.

Krstic, M., Moulds, G., Panagiotopoulos, B. and West, S. 2003. Growing quality grapes to winery specifications. *Winetitles. Adelaide.*

Mabrouk, H. and Sinoquet, H. 1998. Indices of light microclimate and canopy structure of grapevines by 3D digitising and image analysis, and their relationship to grape quality. *Austr. J. Grape and Wine Res.* 4: 2-13.

Martínez de Toda, F., Tardaguila, J. and Sancha, J.C. 2007. Estimation of grape quality in vineyards using a new viticultural index. *Vitis*, 46, 168-173.

Martínez de Toda, F. 2008. Claves de la viticultura de calidad. *Nuevas técnicas de estimación y control de la calidad de la uva en el viñedo.* Ed. Mundi-Prensa. Madrid, 214 pp.

Poni, S. and Intriери C. 2001. Grapevine photosynthesis: effects linked to light radiation and leaf age. *Adv. Hort. Sci.* 15: 5-15.

Smart, R. and Robinson, M. 1991. Sunlight into the wine. *A handbook for winegrape canopy management.* Winetitles, Adelaide.

Tardaguila, J. and Martínez de Toda, F. 2004. Assessment of wine quality in the vineyard. *Acta Hort.*, 652:199-203.

Tardaguila, J., Rubio, A., Martínez, E. and Martínez de Toda, F. 2004. ¿Es posible evaluar la calidad de la uva en el viñedo? *Proc. "IV World Wine Forum" Logroño, Spain 12-14 May.*

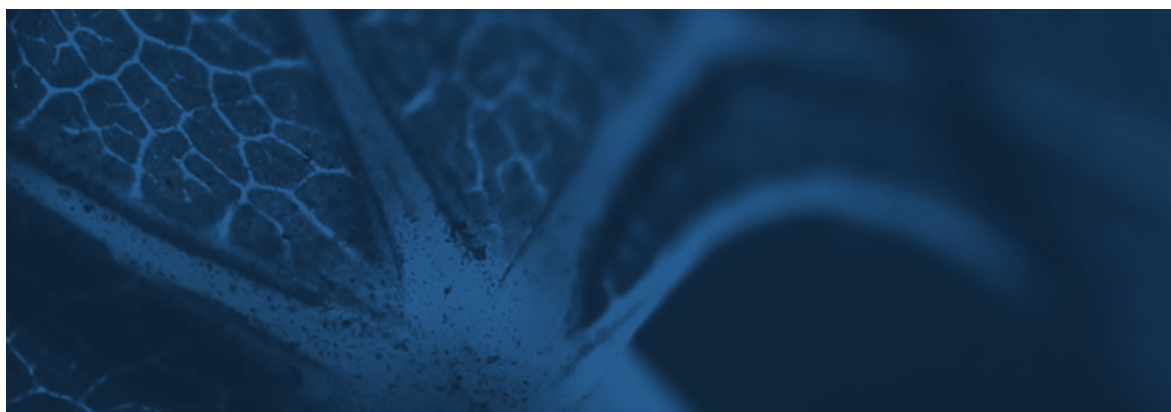
Tardaguila, J. y Martínez de Toda, F. 2005. Ficha Vitur: un instrumento útil para evaluar la calidad de la uva en el viñedo. *"Gienol Workshop" Palencia, Spain 8-10 June.*

Winter, E., Whiting, J. and Rousseau, J. 2004. Winegrape berry sensory assessment in Australia. *Winetitles. Adelaide.*

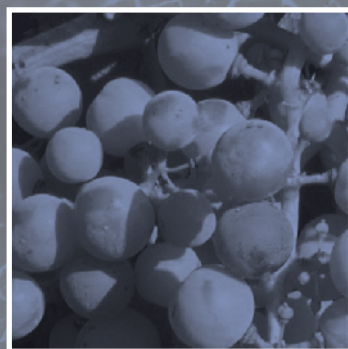
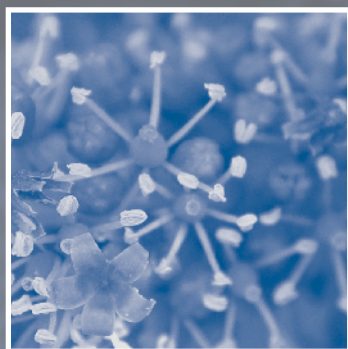
II.5.6. Artículos relacionados

Artículo 1: Tardaguila, J. and Martínez de Toda, F. 2008. Assessment of Tempranillo grapes quality in the Vineyard by Vitur score-sheet. *J. Int. Sci. Vigne Vin (in press).*

Artículo 2: Martínez de Toda, F., Tardaguila, J. and Sancha, J.C. 2007. Estimation of grape quality in vineyards using a new viticultural index. *Vitis*, 46, 168-173.



II.6. Estimación de la calidad de la uva en viñedo utilizando un nuevo índice viticultural



117	II.6.1. Introducción
118	II.6.2. Materiales y métodos
119	II.6.3. Resultados y discusión
122	II.6.4. Conclusiones
123	II.6.5. Referencias bibliográficas



F. MARTÍNEZ DE TODA

J. TARDÁGUILA

J. C. SANCHA

*Departamento de Agricultura y Alimentación,
Universidad de La Rioja, Logroño, España*

Original publicado en Vitis: journal of grapevine research, 2007 vol 46 n°4

Se determinaron la producción de cosecha, el área foliar total, la superficie de canopia y otros parámetros del viñedo en diferentes viñedos de tempranillo y garnacha (*Vitis vinifera* L.) ubicados en la denominación de La Rioja. Todos los parámetros se calcularon a lo largo de 3 años. La estimación de la uva en viñedo se realizó con la ficha Vitur propuesta por TARDÁGUILA y MARTÍNEZ DE TODA (2005). También se determinaron los principales parámetros de la composición química de la pulpa y de la piel de la uva, y se analizaron las correlaciones entre las variables vitícolas y las variables de la composición de la uva. El parámetro que demostró una mayor correlación con la composición fenólica de la uva fue el parámetro SFE/R/LB, el llamado índice Toda. Este índice puede emplearse para estimar la composición fenólica de la uva, y además presentaba las mejores correlaciones con la calidad de la misma, determinada mediante la ficha Vitur. Estos resultados sugieren que para una estimación de la uva de vino en viñedo, la ficha Vitur (necesariamente subjetiva) puede ser reemplazada por el nuevo índice Toda (más rápido y objetivo). La principal ventaja de este nuevo parámetro es que resulta muy fácil de establecer y es completamente objetivo, a diferencia de las evaluaciones visuales que implican un considerable nivel de subjetividad.

II.6.1. Introducción

Al sector vinícola le resultará muy útil disponer de un procedimiento o método rápido y fiable para determinar la calidad de la uva. Hoy en día, no existe un solo método global, aceptado por todo el sector vinícola, para valorar la calidad en viñedo o en el momento en el que las bodegas reciben la uva. Muchas bodegas sólo utilizan uno, o varios parámetros, para determinar la calidad de la uva, pero éste no es el mejor planteamiento porque no permite establecer una relación estrecha con la calidad final de la uva y el vino.

Por lo que respecta a la estimación de la calidad de la uva en viñedo, los primeros que propusieron el uso de una ficha de puntuación fueron SMART y ROBINSON (1991). Más tarde, en Australia, GRAY *et al.* (1994 y 1997) trataron de identificar las características del

viñedo asociadas con la calidad de la uva y, en consecuencia, con la calidad del vino, pero sin resultados demasiados positivos. A este respecto, ALLAN (2003) publicó un interesante informe sobre la estimación de la calidad de la uva en los viñedos australianos. En Europa, algunos investigadores han estudiado la valoración de la calidad de la uva en viñedo, especialmente en Francia (CARBONNEAU, 1995) y en Italia (BERTAMINI *et al.*, 1994).

En los últimos años, las investigaciones sobre las características ecofisiológicas de los viñedos han proliferado por todo el mundo. A raíz de esto, en 2005, KLIEWER y DOKOOZLIAN propusieron 5 parámetros vitícolas, como los más importantes a la hora de definir el equilibrio de un viñedo y su capacidad para producir uvas y vinos de calidad. Los 5 parámetros propuestos, y sus extensiones, fueron: área foliar total/producción de cosecha; rendimiento/peso de poda; peso de poda/metro lineal de longitud de canopia; área foliar total/metro lineal de longitud de canopia; y densidad foliar.

En el caso de las producciones vinícolas de muy alta calidad, es decir, con unos niveles de demanda altos, muchos autores han demostrado la utilidad de 2 variables más: la superficie de canopia y la evaluación visual por medio de una tarjeta de valoración (SMART y ROBINSON, 1991; TARDÁGUILA y MARTÍNEZ DE TODA, 2005).

La mayoría de estos estudios se llevaron a cabo en viñedos vigorosos con suelos fértiles y sin restricciones hídricas. Por esta razón, también podría resultar interesante desarrollar métodos para estimar la calidad de la uva en viñedos de climas cálidos y secos, característicos de la mayoría de las zonas vitícolas mediterráneas.

En los últimos años, en el ámbito de diferentes experimentos destinados a evaluar la calidad de la uva en viñedo, nosotros hemos venido aplicando 2 metodologías: la relación superficie de canopia/rendimiento y la ficha Vitur para la evaluación visual de la uva de vino (TARDÁGUILA y MARTÍNEZ DE TODA, 2005). La ficha Vitur es básicamente un método simple y fiable para

Correspondencia: Dr. F. MARTÍNEZ DE TODA, Departamento de Agricultura y Alimentación, Universidad de La Rioja, Madre de Dios, 51, 26006 Logroño, La Rioja, España. Fax: +34 941 299 721. E-mail: fernando.martinezdetoda@unirioja.es


 Unidad de Viticultura de la Universidad de la Rioja		Ficha Vitur para estimación de la uva en viñedo			
DATOS GENERALES					
Fecha:		Región vinícola:			
Técnico		Código del viñedo::			
Viticultor		Superficie del viñedo::			
Portainjertos:		Variedad y clon:			
Tipo de suelo:		Sistema de conducción:			
Espaciado entre filas:		Espaciado entre plantas:		Densidad de plantación (vides/ha):	
DATOS DE LA CANOPIA					
BV: Brotes por vid:		RV: Racimos por vid			
PR: Peso del racimo:		R: Rendimiento de cosecha (kg/vid)			
ACE: Altura de la canopia expuesta		AnCE: Anchura de la canopia expuesta:			
VE: "ventanas" en la canopia		SFE: Superficie foliar expuesta de la canopia (m ² /ha)			
Criterios	Puntos			Factor de pesado	Puntos
	1	2	3		
SFE /R (m ² /kg)	<input type="checkbox"/> < 0.8	<input type="checkbox"/> 0.8 - 1.2	<input type="checkbox"/> > 1.2	5	
Número de capas foliares	<input type="checkbox"/> > 4	<input type="checkbox"/> < 3	<input type="checkbox"/> 3 - 4	2	
Condición de las hojas (% de hojas enfermas)	<input type="checkbox"/> > 10 %	<input type="checkbox"/> 2 % - 10 %	<input type="checkbox"/> < 2 %	2	
Síntomas de estrés hídrico	<input type="checkbox"/> Alto o muy bajo	<input type="checkbox"/> Moderado	<input type="checkbox"/> Estrés leve	2	
Presencia de nietos	<input type="checkbox"/> Alta	<input type="checkbox"/> Moderada	<input type="checkbox"/> Nula	2	
Vigor	<input type="checkbox"/> Alto	<input type="checkbox"/> Bajo	<input type="checkbox"/> Moderado	2	
Estado sanitario del racimo (% racimos con enfermedades)	<input type="checkbox"/> > 5 %	<input type="checkbox"/> 1 % - 5 %	<input type="checkbox"/> < 1 %	4	
Exposición de los frutos (%)	<input type="checkbox"/> < 20 %	<input type="checkbox"/> > 70 %	<input type="checkbox"/> 20 - 70 %	3	
Tamaño del racimo	<input type="checkbox"/> Grande	<input type="checkbox"/> Moderado	<input type="checkbox"/> Reducido	2	
Color del fruto	<input type="checkbox"/> Heterogéneo	<input type="checkbox"/> Leve heterogéneo	<input type="checkbox"/> Homogéneo	3	
Tamaño de la baya	<input type="checkbox"/> Grande	<input type="checkbox"/> Moderado	<input type="checkbox"/> Reducido	3	
Valor Vitur (Total de puntos)					

Fig. 1 : Ficha Vitur empleada para valorar la uva de vino en viñedo (Tardáguila y Martínez de Toda, 2005).

evaluar la calidad general de la uva en el mismo viñedo, aunque requiere de un mayor estudio y adaptaciones más específicas. El principal inconveniente de una tarjeta de evaluación visual en viñedo como la ficha Vitur es su subjetividad (Fig. 1). De ahí que resultaría muy interesante descubrir un parámetro objetivo que resultara fácil de medir en los viñedos y que pudiera reemplazar esta evaluación visual tan subjetiva pero que pudiera aportar el mismo tipo de información.

En este estudio quisimos analizar las relaciones entre los principales parámetros viticulturales objetivos, el valor Vitur y la composición de la uva.

II.6.2. Materiales y métodos

El ensayo se llevó a cabo en 2002 en 11 viñedos comerciales de garnacha y 10 de tempranillo de las Bodegas Marqués de Reinosa en Autol (D.O.Ca. Rioja, España).

En 2003, se analizaron 12 parcelas de viñedos de tempranillo de aquellas bodegas. En 2004, el ensayo se llevó a cabo sobre 11 viñedos de tempranillo de Bodegas Riojanas, en Cenicero (D.O.Ca. Rioja). Los viñedos se mantuvieron bajo condiciones de secano y regadío. Todos los viñedos fueron conducidos en

espaldera con brotes en posición vertical y podados a pitón. Se aplicaron las prácticas culturales normales de la D.O.Ca. Rioja.

Estimación del viñedo: La caracterización del viñedo se llevó a cabo una semana antes de la vendimia. Se aplicaron las siguientes técnicas para determinar el estado del viñedo:

I. Evaluación del crecimiento y el rendimiento. Se determinaron los siguientes parámetros en 10 vides representativas de cada parcela: número de brotes, longitud total de brotes (principal y laterales), número de racimos y rendimiento. En invierno se determinó también el peso de madera de poda. También se establecieron los índices propuestos por KLIEWER y DOKOOZLIAN (2005).

II. Área total foliar y superficie de canopia. Estos valores se determinaron siguiendo el método de SMART y ROBINSON (1991) en 10 vides representativas de cada parcela.

III. La estimación de la uva en viñedo se realizó mediante la ficha del índice Vitur, propuesta por TARDÁ-GUILA y MARTÍNEZ DE TODA (2005). La ficha Vitur se empleó para determinar visualmente once variables vitícolas (Fig. 1).

IV. Los datos del viñedo sirvieron para calcular un parámetro (superficie de canopia/rendimiento)/longitud total de los brotes ((SFE/R)/LB), el llamado índice Toda.

Análisis de las uvas: Una semana antes de la vendimia (finales de septiembre), se tomaron muestras de 20 racimos representativos de cada parcela. La madurez fenólica se estableció aplicando el método propuesto por Saint-Cricq *et al.*, (1998). Se calcularon los siguientes parámetros: índice de polifenoles totales, intensidad del color, antocianos totales y antocianos extraíbles.

Para establecer la composición química de la pulpa de la uva, se tomaron 100 bayas y se trituraron manualmente. Una vez filtrado el mosto, se analizaron los siguientes parámetros: contenido de azúcares; acidez total; pH; ácido tartárico y ácido málico. El análisis se llevó a cabo mediante un analizador de parámetros múltiples WineScan FT 120 (FOSS, Dinamarca) y el software Grapescan.

Análisis estadístico: Los análisis de correlación lineal se llevaron a cabo mediante el coeficiente de correlación de Pearson, para establecer correlaciones significativas, o altos niveles de correlación, entre los diferentes parámetros vitícolas del estudio, la estimación mediante el índice de la ficha Vitur y los parámetros analíticos de la composición de la uva.

II.6.3. Resultados y discusión

Dimensiones de los parámetros incluidos en el índice Toda: para hacernos una idea de los valores de los parámetros que componen el índice Toda en los diferentes viñedos, el parámetro SFE/R osciló entre 0,63 y 1,46, y el parámetro LB varió entre 1,33 y 1,94 m.

Correlación entre el índice Toda y el valor Vitur: durante los 3 años de estudio, el parámetro vitícola o índice que demostró una mayor correlación con el índice Vitur fue el índice Toda en todos los casos (datos no incluidos). De ahí que las figuras que siguen sólo muestren las correlaciones de este índice. Las gráficas de las figuras 2 y 3 muestran la correlación entre el índice Toda (definido como SFE/R/LB) y el valor Vitur en los viñedos de tempranillo durante los años 2003 y 2004. Los resultados muestran una estrecha relación entre ambos parámetros, especialmente en 2004 ($R^2 = 0,856^{**}$). El índice Toda demostró ser un buen indicador del estado del viñedo, determinado mediante la ficha Vitur. Los resultados revelaron que a la hora de determinar la calidad del viñedo, la evaluación visual puede ser sustituida por el índice Toda. La principal ventaja de este nuevo índice es su objetividad, y lo

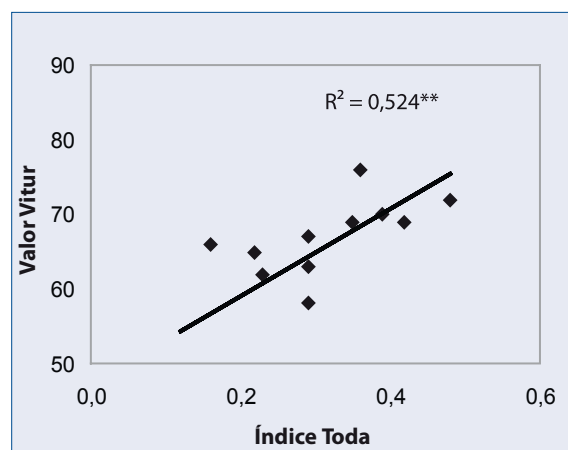


Fig. 2. Correlación significativa entre el valor Vitur y el índice Toda en viñedos de tempranillo en 2003 ($p < 0,01$). Se muestran el coeficiente de correlación R^2 y la recta ajustada.

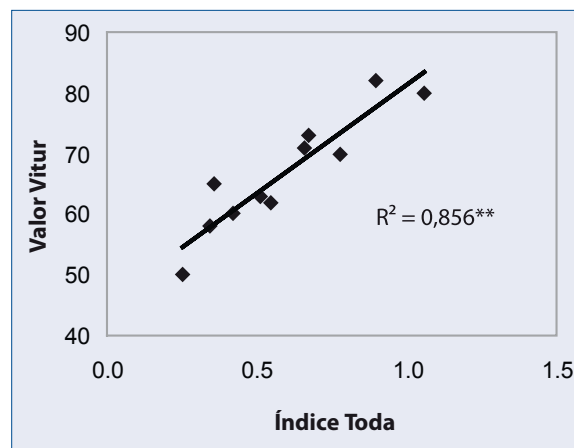


Fig. 3. Correlación significativa entre el valor Vitur y el índice Toda en viñedos de tempranillo en 2004 ($p < 0,01$). Se muestran el coeficiente de correlación R^2 y la recta ajustada.

Tabla 1

Correlación (coeficiente de correlación de Pearson y significancia) entre los parámetros de calidad de la uva y algunas variables del viñedo (superficie de canopia/rendimiento –SFE/rendimiento-, longitud total de los brotes e índice Toda) en viñedos de tempranillo en 2002.

	Antocianos extraíbles	Antocianos totales	Índice de polifenoles totales	Intensidad del color	Contenido de azúcares	Acidez total	pH	Ácido tartárico	Ácido málico
SFE/ Rendimiento	0.690 *	0.751 *	0.135 ns	0.796 ns	0.489 ns	-0.080 ns	0.276 ns	0.481 ns	-0.284 ns
Longitud total brotes	-0.398 ns	-0.396 ns	-0.337 ns	-0.067 ns	-0.327 ns	0.789 **	-0.410 ns	0.197 ns	0.602 ns
Índice Toda	0.840 **	0.819 **	0.278 ns	0.784 **	0.508 ns	-0.479 ns	0.594 ns	0.151 ns	-0.377 ns

*Ns, * y ** representan no significativa y diferencias significantes a niveles 0,05 y 0,01 respectivamente.*

Tabla 2

Correlación (coeficiente de correlación de Pearson y significancia) entre los parámetros de calidad de la uva y algunas variables del viñedo (superficie de canopia/rendimiento –SFE/rendimiento-, longitud total de los brotes e índice Toda) en viñedos de garnacha en 2002.

	Antocianos extraíbles	Antocianos totales	Índice de polifenoles totales	Intensidad del color	Contenido de azúcares	Acidez total	pH	Ácido tartárico	Ácido málico
SFE/ Rendimiento	0.600 ns	0.766 **	-0.385 ns	0.367 ns	0.220 ns	-0.577 ns	0.204 ns	0.695 *	-0.789 **
Longitud total brotes	-0.239 ns	0.004 ns	-0.273 ns	-0.039 ns	-0.141 ns	0.396 ns	-0.079 ns	0.148 ns	-0.094 ns
Índice Toda	0.778 **	0.807 **	-0.121 ns	0.409 ns	0.404 ns	-0.801 **	0.245 ns	0.642 *	-0.785 **

*Ns, * y ** representan no significativa y diferencias significantes a niveles 0,05 y 0,01 respectivamente.*

Tabla 3

Correlación (coeficiente de correlación de Pearson y significancia) entre los parámetros de calidad de la uva y algunas variables del viñedo (superficie de canopia/rendimiento –SFE/rendimiento-, longitud total de los brotes, índice Toda y valor Vitur) en viñedos de tempranillo en 2003.

	Antocianos extraíbles	Antocianos totales	Índice de polifenoles totales	Intensidad del color	Contenido de azúcares	Acidez total	pH	Ácido tartárico	Ácido málico
SFE/ Rendimiento	0.336 ns	0.437 *	-0.174 ns	0.464 *	0.744 **	0.092 ns	0.568 ns	0.604 *	0.125 ns
Longitud total brotes	-0.374 ns	-0.370 ns	-0.591 *	-0.178 ns	0.268 ns	0.490 ns	0.219 ns	0.239 ns	0.171 ns
Índice Toda	0.844 **	0.919 **	0.349 ns	0.798 **	0.522 ns	-0.414 ns	0.434 ns	0.299 ns	0.030 ns
Valor Vitur	0.782 **	0.830 **	0.315 ns	0.807 **	0.395 ns	-0.142 ns	0.265 ns	0.512 ns	-0.127 ns

*Ns, * y ** representan no significativa y diferencias significantes a niveles 0,05 y 0,01 respectivamente.*

rápida y fácilmente que se determina en el viñedo, mientras que la ficha Vitur es a la vez más compleja y necesariamente más subjetiva.

Correlación entre el índice Toda y la composición de la uva: el índice Toda mostró una estrecha correlación con la composición fenólica de las uvas (Tablas 1, 2 y 3). A lo largo de los 3 años de estudio, el parámetro viticultural o índice que reflejó una mayor correlación

con la composición fenólica de las uvas fue el índice Toda en todos los casos (datos no incluidos). De ahí que las tablas que siguen sólo muestren las correlaciones de este índice, y las de los parámetros en que se origina (SFE/R y LB), con la composición de las uvas.

Tab. 1 recoge los resultados del análisis de correlación lineal entre estos parámetros del viñedo y la composición química de las bayas de tempranillo en 2002.

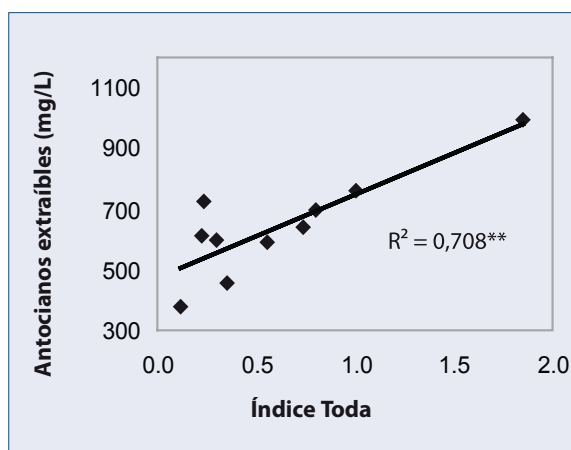


Fig. 4. Correlación significativa entre los antocianos extraíbles y el índice Toda en viñedos de tempranillo en 2002 ($p < 0,01$). Se muestran el coeficiente de correlación R^2 y la recta ajustada.

Se dio una correlación significativa entre el parámetro SFE/R y la composición fenólica de las uvas, pero no se observó correlación alguna con la composición de la pulpa. El coeficiente de correlación con la composición fenólica mejoró de forma sustancial cuando se consideró el parámetro SFE/R/LB. La Fig. 4 muestra el análisis de regresión entre el índice Toda y los antocianos extraíbles de tempranillo en 2002; los resultados fueron parecidos a la regresión con los antocianos totales y la intensidad del color. Como se puede observar, este parámetro resultó ser un buen indicador de la madurez fenólica de las uvas.

La Tab. 2 recoge los resultados con garnacha en 2002. Los resultados pueden interpretarse de igual manera que los reflejados en el caso de tempranillo.

También con garnacha se observaron buenas correlaciones entre el parámetro SFE/R/LB y la composición

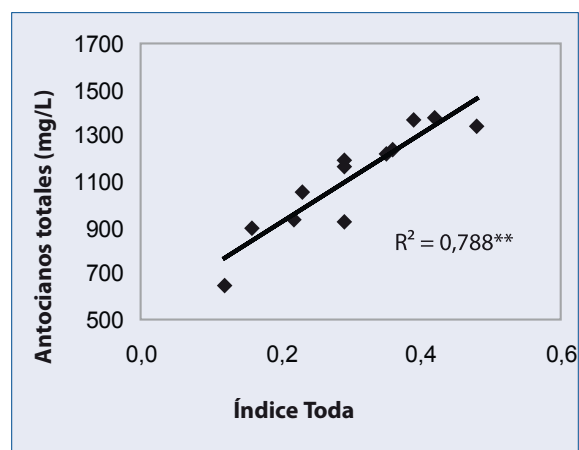


Fig. 5. Correlación significativa entre los antocianos totales y el índice Toda en viñedos de tempranillo en 2003 ($p < 0,01$). Se muestran el coeficiente de correlación R^2 y la recta ajustada.

fenólica de las uvas (antocianos totales y extraíbles); no se observaron correlaciones significativas con la intensidad del color, pero sí con la acidez total, el ácido tartárico y el ácido málico. La Tab. 3 muestra los resultados con tempranillo en 2003. Los resultados fueron parecidos a los obtenidos en 2002. Una vez más se detectaron correlaciones muy significativas entre el parámetro SFE/R/LB y los antocianos totales, extraíbles y la intensidad del color. La fig. 5 muestra el análisis de regresión entre el índice Toda y los antocianos totales; los resultados fueron parecidos en la regresión con antocianos extraíbles e intensidad del color. También ese año, el parámetro SFE/R/LB resultó ser un buen indicador de la madurez fenólica de las uvas.

Partiendo de estos resultados, podríamos concluir que en estas condiciones experimentales el índice Toda fue un buen indicador de la composición fenólica de la uva.

La Tab. 3 recoge los resultados de la correlación entre la composición de la uva, el valor Vitur y el parámetro SFE/R/LB, para la variedad tempranillo en 2003. Como puede observarse en esta tabla, el valor Vitur mostraba una buena correlación con la composición fenólica de la uva, pero los coeficientes de correlación eran más bajos que los que correspondían al índice Toda, lo que significa que este índice es mejor indicador de la composición fenólica que el valor Vitur.

Para terminar, la Tab. 4 recoge los resultados de la correlación entre el parámetro SFE/R/LB y los parámetros en los que se origina, SFE/R y LB, y el valor Vitur con la composición química de la pulpa para la variedad tempranillo en 2004. Como en el caso anterior, el coeficiente de correlación con el contenido de azúcares fue probablemente el más significativo en el índice Toda frente al valor Vitur, lo que implica que este índice fue mejor indicador del contenido de azúcares que el valor Vitur.

	Contenido de azúcares	Acidez titulable	pH	Ácido málico
FSE/Rendimiento	0.502 ns	-0.464 ns	-0.046 ns	-0.260 ns
Longitud total brotes	-0.413 ns	0.216 ns	-0.146 ns	0.626 *
Índice Toda	0.658 *	-0.465 ns	0.024 ns	-0.480 ns
Valor Vitur	0.381 ns	-0.470 ns	0.168 ns	-0.353 ns

*Ns, * y ** representan no significativa y diferencias significantes a niveles 0,05 y 0,01 respectivamente.*

En este estudio, llevado a cabo en La Rioja, a la hora de estimar la calidad de la uva, el índice Toda demostró ser un indicador más sólido que otros índices viticulturales (datos no incluidos) entre los que estarían también los índices propuestos por KLEWER y DOKOOZLIAN (2005).

El índice Toda es una relación entre 2 parámetros de reconocido interés viticultural: la relación superficie de canopia/rendimiento, y la longitud total de los brotes. La capacidad de la relación superficie de canopia/rendimiento para estimar el equilibrio y el potencial enológico de los viñedos ha sido recogida por muchos autores (SMART y ROBINSON, 1991; CARBONNEAU, 1995; KLEWER y DOKOOZLIAN, 2005; TARDÁGUILA y MARTÍNEZ DE TODA, 2005). Por otra parte, la longitud total de los brotes de la vid es un indicador del vigor de la misma. De ahí, que el índice Toda evalúe

la relación entre el equilibrio crecimiento vegetativo-rendimiento y el vigor.

II.6.4. Conclusiones

El nuevo índice Toda, definido como $SFE/R/LB$, presenta muy buenas correlaciones con el estado de calidad del viñedo, determinado por la ficha Vitur. A la hora de realizar la estimación de la uva de vino en viñedo, la ficha Vitur, que es necesariamente subjetiva, podría reemplazarse con el nuevo índice Toda, que es más rápido y más objetivo.

A su vez, el índice Toda demostró una correlación muy buena con el contenido fenólico de las uvas y podría emplearse, por tanto, para determinar su composición fenólica.



II.6.5. Referencias bibliográficas

ALLAN, W.; 2003: Winegrape assessment in the vineyard and at the winery. *Aust. Vitic.* 6, 20-43.

BERTAMINI, M.; TARDAGUILA, J.; IACONO, F.; 1994: Valutazione dell'equilibrio vegeto-produttivo e microclimatico del vigneto per l'ottimizzazione delle tecniche colturali a verde: Aspetti teorici e pratici. *Boll. ISMA* 2, 24-40.

CARBONNEAU, A.; 1995: La surface foliaire exposee potentielle. Guide pour sa mesure. *Progr. Agric. Vitic.* 112, 204-212.

GRAY, J. D.; GIBSON, R. J.; COOMBE, B. G.; GILES L. C.; HANCOCK, T. W.; 1994: Assessment of winegrape quality value in the vineyard - a preliminary, commercial survey. *Aust. New Zealand Wine Indust. J.* 9, 253-261.

GRAY, J. D.; GIBSON, R. J.; COOMBE, B. G.; ILAND P. G.; PATTISON, S. J.; 1997: Assessment of winegrape quality value in the vineyard - survey of Shiraz from South Australian vineyards in 1992. *Aust. J. Grape Wine Res.* 3, 109-116.

KLIEWER, W. M.; DOKOOZLIAN, N. K.; 2005: Leaf area/crop weight ratios of grapevines: Influence on fruit composition and wine quality. *Am. J. Enol. Vitic.* 56, 170-181.

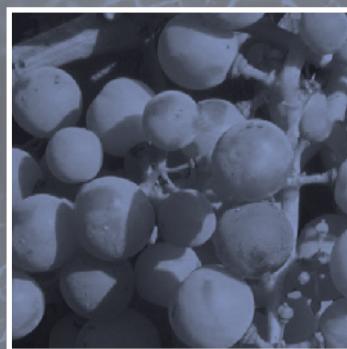
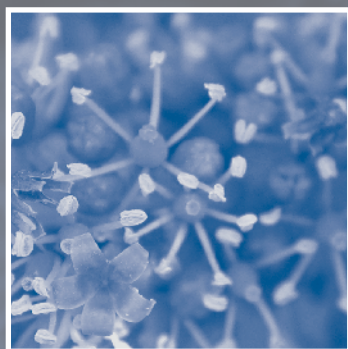
SAINT-CRICQ DE GAULEJAC, N. ; VIVAS, N. ; GLO-RIES, Y. ; 1998: Maturité phénologique: définition et contrôle. *Rev. Française d'Oenol.* 173, 22-25.

SMART, R.; ROBINSON, M.; 1991: Sunlight into the wine. A Handbook for Winegrape Canopy Management. *Winetitles, Adelaide.*

TARDAGUILA, J.; MARTINEZ DE TODA, F.; 2005: Assessment of Tempranillo grape quality in the vineyard by Vitur score-sheet. *Int. Workshop Adv. Grapevine Wine Res., Italy. Acta Hortic. (in press).*



II.7. Estimación de la calidad de la uva tempranillo en el viñedo mediante la ficha VITUR



125	II.7.1. Introducción
126	II.7.2. Materiales y métodos
126	II.7.3. Resultados y comentario
131	II.7.4. Referencias bibliográficas



J. TARDAGUILA y F. MARTÍNEZ DE TODA

Departamento de Viticultura

Universidad de La Rioja

Logroño. España

Este artículo informa sobre un nuevo enfoque en la evaluación de la uva en el viñedo. Se determinó el crecimiento vegetativo, los niveles de cosecha, la superficie foliar total y la superficie del dosel expuesta en 25 viñedos (*Vitis vinifera* L. 'tempranillo') de la región vitícola de La Rioja antes de la vendimia. La evaluación de la uva se llevó a cabo en todos los viñedos usando la ficha Vitur con 11 variables de viñedo. Además, se determinaron los principales parámetros de la composición química de las uvas responsables tanto de la maduración de la pulpa como de la maduración fenólica. Se llevaron a cabo análisis de correlación entre las variables de viñedo y la composición química de la uva para identificar las características asociadas a la calidad de la uva. La edad del viñedo, el peso de poda, la relación entre rendimiento y el peso de poda, superficie total y del dosel, la relación entre superficie foliar total y superficie del dosel y el estado de las hojas no resultaron ser buenos indicadores de la composición de la uva tempranillo. Sin embargo, otras variables como el rendimiento por cepa, la relación entre la superficie expuesta y el rendimiento y el estado de salud de la baya resultaron tener una buena relación con el color y la composición del mosto. De los parámetros estudiados, el valor Vitur fue el que mejor mostró la correlación con la composición química de las uvas. El valor Vitur arrojó una correlación significativa con el nivel de antocianos totales y los extraíbles, la tasa de polifenoles totales, el contenido de azúcar, los ácidos, la acidez total, y los niveles de ácido tartárico y ácido málico. Estos resultados indicaron que la ficha Vitur se podía usar para la evaluación de viñedos de tempranillo como un método rápido y fiable.

II.7.1. Introducción

Los vinos y las uvas utilizadas para su elaboración son productos diferenciados. Hasta hace unos años, los precios de la uva no se correspondían con su valor real. Hoy en día, la industria vitivinícola reconoce la relación entre el precio de la uva, la calidad de la uva y la calidad del vino.

Un método fiable para evaluar la calidad de la uva nos permitiría clasificar las uvas y realizar vinificaciones separadas en función de su calidad. Un método riguroso y objetivo podría promocionar el concepto de "calidad de uva y de vino" entre los viticultores y las bodegas. También nos ayudaría a garantizar un sistema abierto y objetivo para fijar el precio final de las uvas, mejorando con ello la relación entre vendedores y compradores de vendimia. Habría que hacer un especial hincapié en la claridad y transparencia en la especificación de la uva y la atribución de calidad de la uva en las transacciones de vendimia.

Por consiguiente, el problema reside en cómo cuantificar la calidad, y por ende el valor de las uvas antes de la vinificación. Muchas bodegas usan únicamente el contenido de azúcares o diversos parámetros como el pH o la acidez total para evaluar la calidad de la uva.

Este sistema es demasiado simple y no nos permite establecer una conexión clara y rigurosa con la calidad final del vino. Por lo tanto, la calidad de la uva se debe evaluar mediante un método rápido y fiable. En los últimos años se han desarrollado diversos sistemas para evaluar varios parámetros físico-químicos en mostos y vinos de forma rápida (Dubernet y Dubernet, 1999), aunque su aplicación a gran escala sigue resultando compleja. Recientemente, la evaluación sensorial de las bayas ha demostrado ser un método interesante para evaluar las uvas antes de la vinificación (Winter et al., 2004).

Con respecto a la evaluación de la uva en los viñedos, Smart propuso y desarrolló la primera ficha de puntuación (Smart y Robinson, 1991). Más adelante, en Australia, Gray et al., (1994 y 1997) intentaron identificar las características asociadas al valor de la uva y, en última instancia, a la calidad del vino. En esos estudios, se puntuaron más de 1.000 viñedos individuales en diversas zonas vinícolas australianas, pero el índice de valor del vino no se relacionaba coherentemente con ninguna característica en concreto. En relación con este tema, Krstic et al. (2003) han publicado un interesante libro sobre el cultivo de uvas de calidad conforme a las especificaciones de una bodega. El Consejo de Vitivinicultores de Australia y la Federación

Australiana de Productores de Vino están trabajando sobre las buenas prácticas de evaluación de la uva (Allan, 2003). En algunos países europeos, diversos investigadores han contribuido al desarrollo de varios métodos para evaluar la calidad de la uva en los viñedos, específicamente en Francia (Carbonneau, 1995) e Italia (Bertamini et al., 1994). La mayor parte de estos estudios se centra en los problemas relativos a los viñedos situados en zonas fértiles o/y con un abundante abastecimiento de agua. En las zonas secas también resultaría útil disponer de métodos para evaluar la calidad de la uva en los viñedos y para identificar problemas potenciales que puedan aparecer durante el desarrollo vegetativo y de las bayas en las viñas.

Este estudio es una extensión del estudio acometido en la región de Denominación de Origen La Rioja (al norte de España) en 2002 por la Universidad de La Rioja para la supervisión de un proyecto de investigación con la bodega comercial participante en el mismo. Tardaguila y Martínez de Toda (2004 y 2005) describieron el planteamiento general y los resultados preliminares de la evaluación de las uvas en la viña en la viticultura mediterránea. El objetivo principal de este estudio es el de determinar si la ficha Vitur desarrollada por la Universidad de La Rioja se podría aplicar como método fiable para evaluar la calidad de la uva en el viñedo.

II.7.2. Materiales y métodos

El estudio se llevó a cabo en 25 viñedos comerciales (*Vitis vinifera* L. 'tempranillo') en la región productora D.O. de La Rioja (España). Se injertaron las viñas en distintos portainjertos y se plantaron en distintos años. Se forzó el crecimiento vertical de las viñas y se podaron los brotes. Se aplicaron las prácticas de cultivo habituales.

II.7.2.1. Evaluación del viñedo

Se llevó a cabo la evaluación de la calidad de la uva en los viñedos antes de la vendimia. Las técnicas aplicadas para diagnosticar el estado de los viñedos fueron:

- I. Evaluación del crecimiento y el rendimiento. Esta se llevó a cabo antes de la vendimia y se establecieron los siguientes parámetros para 10 cepas representativas de cada viñedo: sarmientos por cepa, nudos por sarmiento, racimos por sarmiento, racimos por cepa y peso de la cosecha.
- II. Se determinó el peso de poda por cepa para 10 cepas representativas del viñedo, durante el invierno. Se calcularon la relación entre el peso de los tallos y el rendimiento y el peso de poda.
- III. Evaluación de la superficie foliar total y la superficie del dosel expuesta. Esta se determinó en los viñedos antes de la vendimia aplicando el método

propuesto por Smart y Robinson (1991). Se usaron 10 cepas representativas de cada viñedo para determinar la superficie foliar total.

- IV. Método Vitur antes de la vendimia. Se llevó a cabo la evaluación de la uva de todos los viñedos usando la ficha Vitur (Fig. 1) propuesta por Tardaguila y Martínez de Toda (2005). Se usaron 11 variables por cada ficha Vitur: la relación entre superficie del dosel y rendimiento, número de capas de hojas, estado de la hoja, síntomas de estrés hídrico, presencia de yemas de crecimiento, vigor, estado de salud de la baya, exposición de la baya, tamaño del racimo, color de la baya y tamaño de la baya. Todas las variables que se usaron en la ficha Vitur tenían 3 niveles de puntuación y un factor de ponderación de 2 a 5. Se refirió al total de puntos de la ficha Vitur como el valor Vitur.

II.7.2.2. Análisis de la Uva

Durante la vendimia se tomó una muestra representativa de racimos de cada viñedo. El grado de maduración fenólica se determinó en laboratorio con el método propuesto por Saint-Cricq de Gaulejac et al., (1998). Se determinaron los parámetros siguientes: tasa de polifenoles totales, intensidad del color, antocianos totales y antocianos extraíbles.

Se usaron otras muestras de racimos para determinar la composición físico-química de las uvas. Se seleccionaron 100 bayas y se exprimieron a mano. El mosto obtenido se analizó después de filtrarlo, mediante un analizador de parámetros múltiples WineScan FT 120 (FOSS, Dinamarca) y el software Grapescan. Los parámetros determinados fueron: contenido de azúcares (Baumé), acidez total, pH, ácidos tartárico y málico.

II.7.3. Resultados y comentario

La Tabla 1 presenta los resultados del análisis de correlación lineal entre todos los parámetros cuantitativos determinados en los viñedos y la composición química de las uvas, responsable tanto de la maduración de la pulpa como de la maduración fenólica de las uvas. Los resultados indicaron que existían diversos grupos de variables de viñedo. El primer grupo incluye los parámetros de viñedo que presentan poca o ninguna relación con la composición del zumo de uva. La edad del viñedo, el peso de poda, la relación entre rendimiento y peso de poda, la superficie foliar total y de dosel, la relación entre la superficie foliar total y la superficie del dosel no son buenos indicadores de la composición de la uva tempranillo. Otras variables de viñedo que arrojaron una buena relación con la composición de la baya se incluyeron en el segundo grupo. Así, el rendimiento por cepa, la relación entre la superficie expuesta y el rendimiento y el estado de salud de la baya presentaron una buena correlación con el color y la compo-

Tabla 1

Correlación (Coeficiente y significancia de la correlación de Pearson) entre todas las variables cuantitativas del viñedo (edad del viñedo, racimos por sarmiento, rendimiento por cepa, longitud del sarmiento, peso de poda, peso del tallo, rendimiento/peso de poda, superficie del dosel (CSA), superficie foliar total (TLA), TLA/rendimiento, TLA/CSA, CSA/rendimiento, estado de la hoja, estado de salud de la baya, exposición de la baya y el valor Vitur) y los parámetros de calidad de la uva

	Antocianos extraíbles	Antocianos Totales	Tasa de polifenoles totales	Intensidad de Color	Contenido de azúcares	Acidez total	pH	Ácido Tartárico	Ácido Máfico
Edad de viña	0,17 NS	0,18 NS	0,21 NS	0,12 NS	-0,20 NS	-0,31 NS	0,05 NS	0,03 NS	-0,15 NS
Racimos por brote	-0,60 ***	-0,69 ***	-0,35 NS	-0,73 ***	-0,34 NS	0,27 NS	-0,29 NS	-0,55 **	0,19 NS
Rendimiento por cepa	-0,57 **	-0,58 **	-0,58 **	-0,67 ***	-0,18 NS	0,51 **	-0,2 NS	-0,41 *	0,32 NS
Longitud de brote	-0,36 NS	-0,32 NS	-0,32 NS	-0,28 NS	0,10 NS	0,43 *	-0,06 NS	-0,27 NS	0,39 *
Peso de poda	-0,39 NS	-0,37 NS	-0,14 NS	-0,28 NS	-0,06 NS	0,47 *	-0,05 NS	-0,28 NS	0,37 NS
Peso del tallo	-0,35 NS	-0,33 NS	-0,02 NS	-0,18 NS	0,02 NS	0,39 NS	-0,01 NS	-0,13 NS	0,27 NS
Rendimiento / Peso de poda	-0,24 NS	-0,27 NS	-0,33 NS	-0,43 *	-0,04 NS	0,14 NS	-0,20 NS	-0,22 NS	0,07 NS
Superficie del dosel (CSA)	0,06 NS	0,10 NS	-0,09 NS	0,05 NS	0,58 **	0,15 NS	-0,05 NS	0,15 NS	0,04 NS
Área total de hoja (TLA)	-0,35 NS	-0,25 NS	-0,49 *	-0,29 NS	0,12 NS	0,40 *	-0,20 NS	-0,19 NS	0,24 NS
TLA/Rendimiento	0,21 NS	0,38 NS	-0,03 NS	0,38 NS	0,47 *	0,03 NS	-0,02 NS	0,30 NS	-0,08 NS
TLA/CSA	-0,27 NS	-0,26 NS	-0,30 NS	-0,23 NS	-0,51 **	0,25 NS	-0,10 NS	-0,29 NS	0,21 NS
CSA/ Rendimiento	0,49 *	0,59 **	0,31 NS	0,58 **	0,58 **	-0,14 NS	0,14 NS	0,43 *	-0,13 NS
Condición de la hoja	-0,16 NS	-0,08 NS	0,10 NS	-0,04 NS	-0,43 *	-0,23 NS	-0,22 NS	0,10 NS	-0,32 NS
Estado de salud de la baya	-0,42 *	-0,47 *	-0,33 NS	-0,28 NS	-0,07 NS	0,58 **	-0,32 NS	-0,42 *	0,43 *
Exposición de la baya	0,34 NS	0,32 NS	0,31 NS	0,30 NS	-0,45 *	-0,44 *	0,28 NS	0,26 NS	-0,26 NS
Valor Vitur	0,77 ***	0,81 ***	0,43 *	0,67 ***	0,38 *	-0,62 ***	0,31 NS	0,59 **	-0,48 **


NS, *, ** y *** representan no significativo y diferencias significativas a niveles 0.05, 0.01 y 0.001, respectivamente.

sición del zumo. En otras palabras, cada parámetro de la viña arrojó una correlación significativa con 5 características de la baya. A modo de ejemplo, la Figura 2 presenta una correlación lineal negativa entre la tasa de polifenoles totales y el rendimiento por pie ($R^2=0.337^{**}$). La Figura 3 presenta la representación gráfica de la relación parabólica entre los antocianos totales y la relación entre superficie del dosel y ratio de rendimiento en uvas ($R^2=0.449^{**}$). Básicamente, estos resultados demuestran que la relación entre superficie expuesta y el rendimiento de uva resulta

ser un buen indicador de la composición fenólica de las uvas, que resulta muy difícil de establecer o estimar de forma rápida utilizando solamente métodos físico-químicos. Esta tendencia en los resultados coincide con los resultados de la bibliografía sobre el impacto positivo de la superficie del dosel en la maduración de la uva y, más concretamente, en su maduración fenólica (Kliwer y Weaver, 1971; Smart y Robinson, 1991; Bertamini et al., 1994; Tardaguila et al., 2004).

Figura 1

Ficha VITUR usada para la evaluación de la uva en el viñedo (Tardaguila y Martínez de Toda, 2005).

 Unidad de Viticultura Universidad de La Rioja		FICHA VITUR PARA LA EVALUACIÓN DE VIÑEDOS			
DATOS GENERALES					
Fecha:		Región vinícola:			
Técnico:		Código de Viñedo:			
Cultivador:		Superficie de Viñedo:			
Rizoma:		Varietal y clon:			
Tipo de suelo:		Sistema de Capacitación:			
Espacio entre hileras:	Espacio entre pies:	Densidad de pies (pies/Ha):			
DATOS DEL CULTIVO					
Sv: Sarmientos por cepa:		Bv: Racimos por cepa:			
Bw: Peso de racimo:		Y: Rendimiento de vendimia (kg/pie):			
Hc: Altura de dosel expuesta:		Wc: Anchura de dosel expuesta:			
Wi: "ventanas" en el dosel (%):		CSA: Superficie de dosel expuesta (m ² /Ha):			
Criterios	Puntos			Factor de Ponderación	Puntos
	1	2	3		
CSA/Y (m ² /Kg)	< 0,8	0,8 - 1,2	> 1,2	5	
Número de capas de hojas	> 4	< 3	3 - 4	2	
Estado de las hojas (% de hojas enfermas)	> 10%	2% - 10%	< 2%	2	
Síntomas de estrés hídrico	Alta o muy baja	Moderado	Poca falta	2	
Presencia de yemas	Alta	Moderada	Ninguno	2	
Vigor	Alto	Bajo	Moderado	2	
Estado de salud de la baya (% de racimos enfermos)	> 5%	1% - 5%	< 1%	4	
Exposición de la baya (%)	< 20%	> 70%	20 - 70%	3	
Tamaño del racimo	Grande	Moderado	Pequeño	2	
Color de la baya	Heterogéneo	Heterogéneo claro	Homogéneo	3	
Tamaño de la baya	Grande	Moderada	Pequeña	3	
Valor VITUR (Total de puntos)					

En muchas bodegas se usa el contenido de azúcares como indicación de la calidad de la uva. Nuestros resultados mostraron que el contenido de azúcares sólo guardaba una correlación significativa con los antocianos totales y la intensidad de color (no se muestran los datos). La Figura 4 ilustra la relación entre los antocianos totales y el contenido de azúcares ($R^2=0.207^*$). Estos resultados demuestran que el contenido de azúcar sólo brinda una orientación aproximada para determinar el valor de la uva.

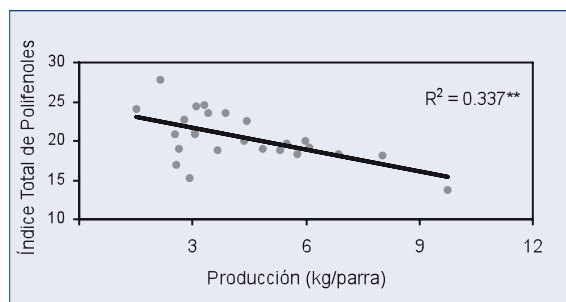
Por último, el parámetro que mostró la mejor correlación con la composición química de las uvas fue el valor Vitur. Como muestra la Tabla 1, el valor Vitur arrojó una correlación significativa con todos los parámetros relativos a la calidad de la uva (excepto el pH). La Figura 5 muestra las correlaciones significativas entre el valor Vitur y 8 variables de la composición de uva. Así, el valor Vitur arrojó una correlación positiva con el color, la tasa de polifenoles totales, el contenido de azúcares y el nivel de ácido tartárico, y una correlación negativa con la acidez total y el nivel de ácido málico. Básicamente, estos resultados demostraron que el valor Vitur fue el mejor indicador de la composición fenólica y de algunos parámetros relevantes relacionados con la composición química de las uvas.

Hay que tener en cuenta que los 25 viñedos objeto de estudio eran muy diferentes en cuanto al suelo, la disponibilidad de agua, la edad de las cepas, los portainjertos y las técnicas de cultivo aplicadas y, por consiguiente, la existencia de alguna correlación entre el valor de la ficha Vitur y los parámetros de composición de uva resulta bastante alentador para este tipo de estudio que persigue estimar la calidad de la uva en el viñedo.

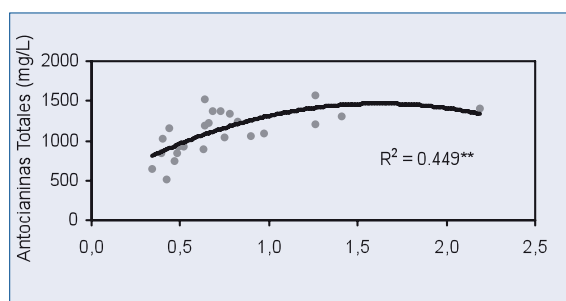
En conclusión, la metodología Vitur es un método rápido y fiable para evaluar la calidad de la uva tempranillo en el viñedo en las condiciones imperantes en España. Si la industria vinícola pudiese usar un método de estas características, se podrían clasificar las uvas de manera simple y racional antes de la vendimia y del proceso de rendimiento del vino.

Figura 2

Correlación significativa entre la tasa de polifenoles totales y el rendimiento por pie ($p<0.01$). Se muestran el coeficiente de correlación R^2 y la línea recta ajustada.

**Figura 3**

Relación entre el total de antocianos y la relación entre superficie del dosel y el rendimiento. Se muestran el valor R^2 , la significancia ($p<0.01$) y la curva parabólica ajustada (modelo cuadrático).

**Figura 4**

Correlación significativa entre el total de antocianos y el contenido de azúcares ($p<0.05$). Se muestran el coeficiente de correlación R^2 y la línea recta ajustada.

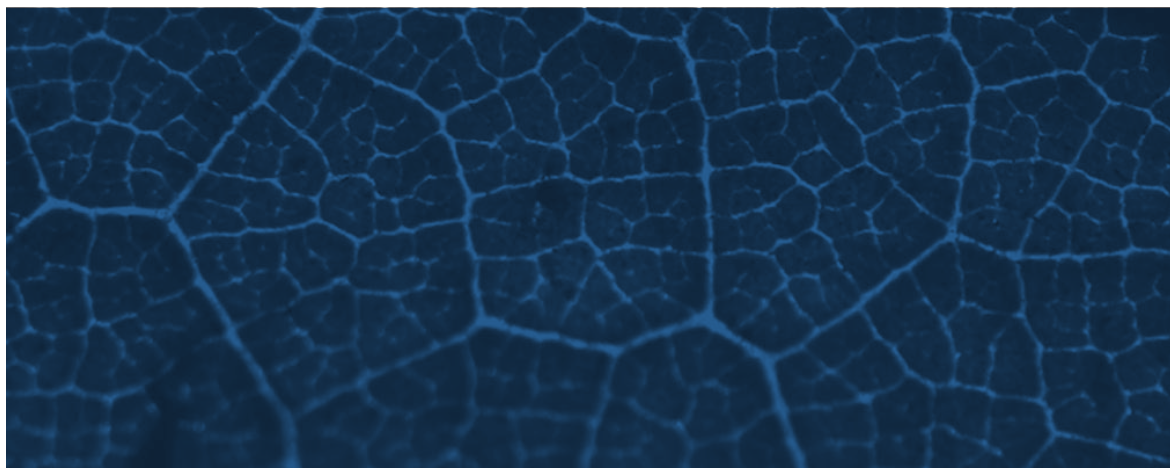
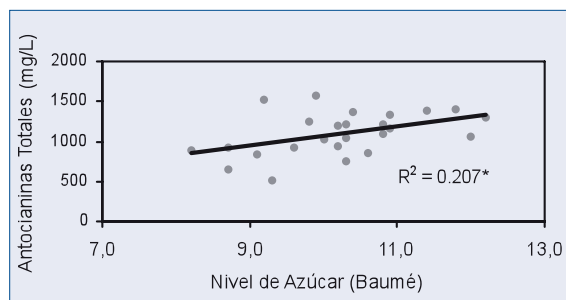
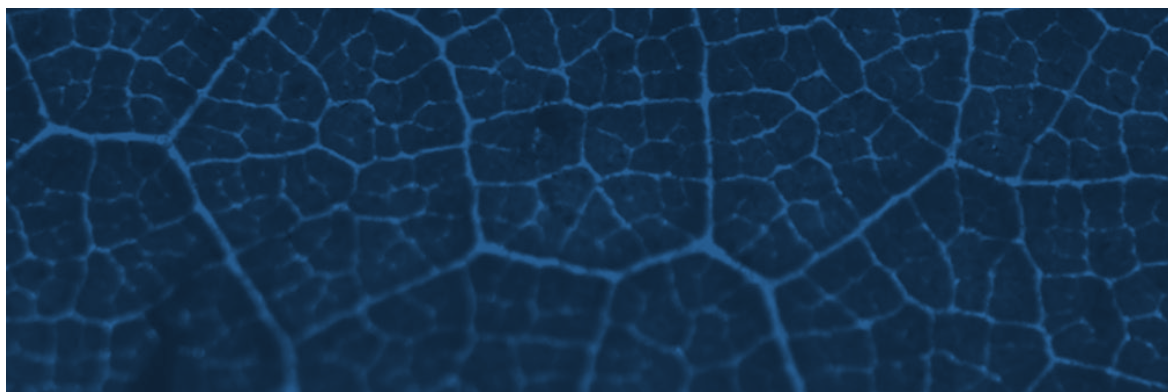
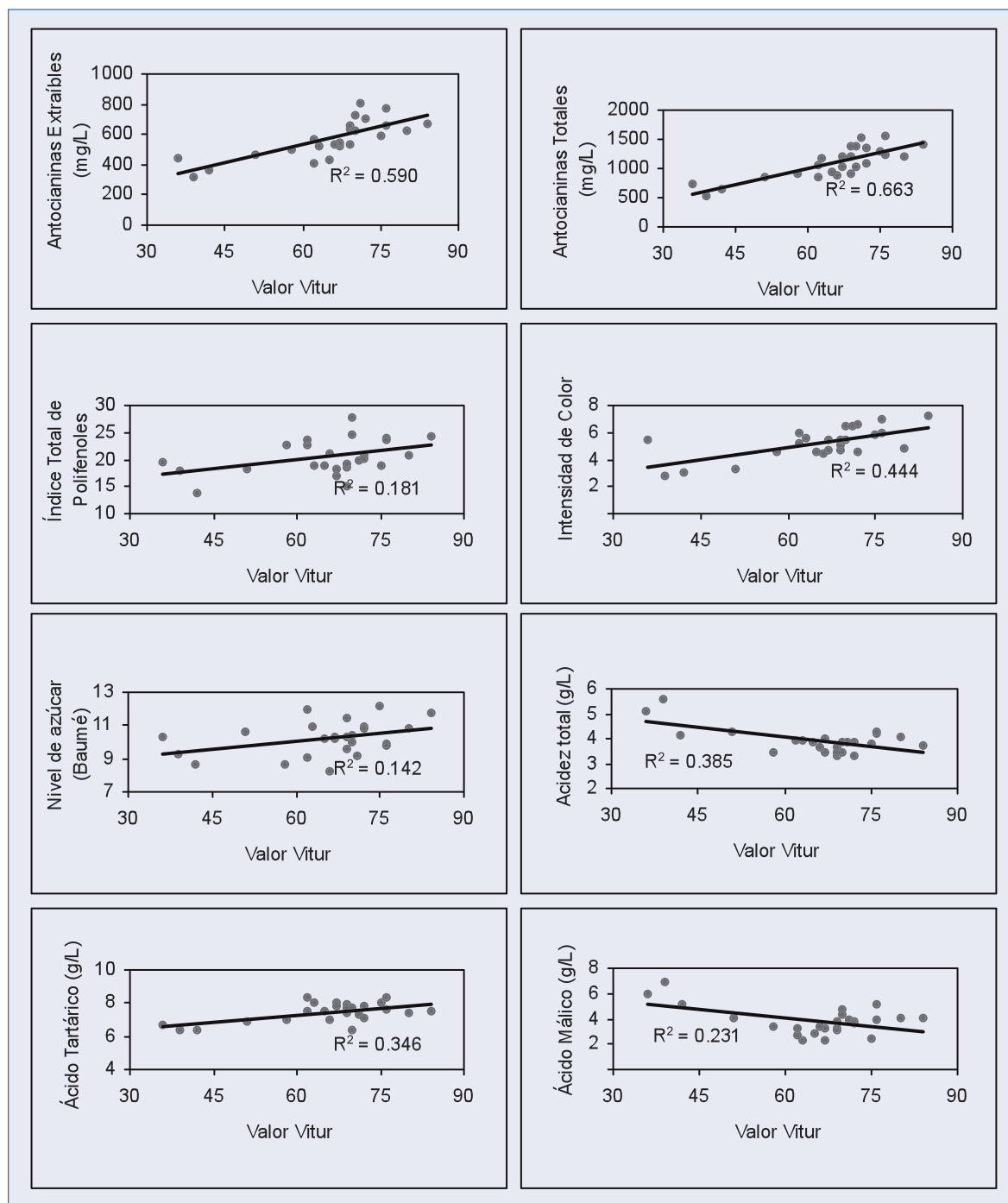


Figura 5

Correlaciones significativas entre el valor de la ficha VITUR en distintas viñas y las variables de composición ($p < 0.05$). Se muestran el coeficiente de correlación R^2 y la línea recta ajustada.



II.7.4. Referencias bibliográficas

Allan, W. 2003. Winegrape assessment in the vineyard and at the winery. *Aust. Vitic.*, 6:20-43.

Bertamini, M., Tardaguila, J. y Iacono, F. 1994. Valutazione dell'equilibrio vegeto-produttivo e microclimatico del vigneto per l'ottimizzazione delle tecniche colturali a verde: aspetti teorici e pratici. *Bollettino ISMA*, 2:24-40.

Dubernet, M. y Dubernet, M. 1999. Utilisation de l'analyse infrarouge multiparamétrique a transformée de Fourier oenologie de routine. *Rev. Française d'Oenologie*, 181:10-13.

Carbonneau, A. 1995. La surface foliaire exposée potentielle. *Guide pour sa mesure. Progr. Agric. Vitic.*, 112, 9:204-212.

Gray, J.D., Gibson, R.J., Coombe, B.G., Giles L.C., y Hancock, T.W. 1994. Assessment of winegrape quality value in the vineyard – a preliminary, commercial survey. *Aust. New Zealand Wine Industry J.*, 9/3:253-261.

Gray, J.D., Gibson, R.J., Coombe, B.G., Iland P.G., y Pattison, S.J., 1997. Assessment of winegrape quality value in the vineyard – Survey of cv. *Shiraz from South Australian vineyards in 1992. Aust. J. Grape Wine Res.*, 3:109-116.

Kliewer, W.M. y Weaver, R.J. 1971. Effect of crop level and leaf area on growth, composition and coloration of Tokay grapes. *Amer. J. Enol. Vitic.*, 22:172-177.

Krstic, M., Moulds, G., Panagiotopoulos, B. y West, S. 2003. Growing quality grapes to winery specifications. *Winetitles. Adelaide.*

Saint-Cricq de Gaulejac, N., Vivas, N. y Glories, Y. 1998. Maturité phénolique: définition et contrôle. *Rev. Française d'Oenologie*, 173:22-25.

Smart, R. y Robinson, M. 1991. Sunlight into the wine. *A handbook for winegrape canopy management. Winetitles, Adelaide.*

Tardaguila, J. y Martínez de Toda, F. 2004. Assessment of wine quality in the vineyard. *Acta Hort.*, 652:199-203.

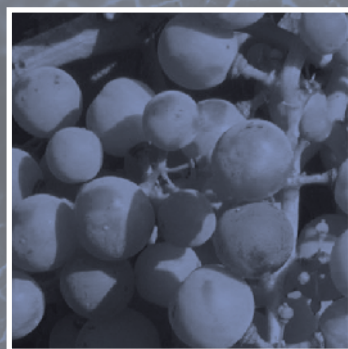
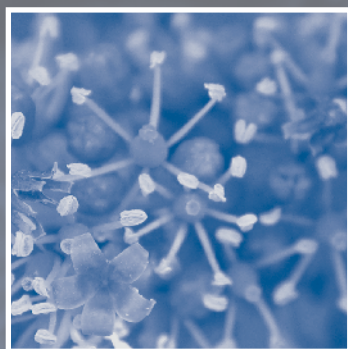
Tardaguila, J., Rubio, A., Martínez, E. y Martínez de Toda, F. 2004. ¿Es posible evaluar la calidad de la uva en el viñedo? *Proc. "IV World Wine Forum" Logroño, España 12 a 14 de mayo.*

Tardaguila, J. y Martínez de Toda, F. 2005. Ficha Vitur: un instrumento útil para evaluar la calidad de la uva en el viñedo. *"Gienol Workshop" Palencia, Spain 8-10 June.*

Winter, E., Whiting, J. y Rousseau, J. 2004. Winegrape berry sensory assessment in Australia. *Winetitles. Adelaide.*



II.8. Determinación y control del estado hídrico de la vid, efectos morfológicos de la restricción hídrica en vides.



133	II.8.1. Determinación del estado hídrico de la vid
136	II.8.2. El estado hídrico, el crecimiento vegetativo y la fisiología de la planta
136	II.8.3. El estado hídrico y el crecimiento de la baya
138	II.8.4. El estado hídrico y la composición de la baya
139	II.8.5. Modelos de estrategias de riego posibles
139	II.8.6. Conclusiones
141	II.8.7. Referencias bibliográficas



Hernán OJEDA (1)
 Alain DELOIRE (2)
 Zenphing WANG (2,3)
 Alain CARBONNEAU (2)

Original publicado en *Viticultura y Enología Profesional* 2004, nº 90 Enero / Febrero.

El agua es un factor determinante en el rendimiento y en la calidad de las uvas y, por consecuencia, de los vinos. En los terroirs vitícolas el agua es aportada por las lluvias y las napas freáticas. Cuando este aporte no es suficiente para el cultivo de la vid, se debe regar o aceptar las consecuencias de la restricción hídrica que, según la intensidad y el momento del período vegetativo en que ocurra, tendrá consecuencias favorables o desfavorables para la calidad de la vendimia y de los vinos. El conocimiento del estado hídrico del viñedo es importante para entender su comportamiento vegetativo/reproductivo y es fundamental para el manejo racional del agua de riego. El objetivo de este artículo es presentar cierta información en relación a las consecuencias del estado hídrico del viñedo sobre el crecimiento y la composición de la baya; mostrar algunas técnicas actuales para medir el estado hídrico del viñedo en relación a la reserva de agua del suelo; y presentar algunas recomendaciones posibles para el control de la restricción hídrica como herramienta reguladora de rendimiento y calidad.

II.8.1. Determinación del estado hídrico de la vid

Si bien existen diferentes métodos disponibles para el seguimiento del balance hídrico del cultivo y del suelo (evapotranspirómetros, tensiómetros, sondas, humedimetría neutrónica, ...), en la práctica los datos obtenidos por estos métodos pueden llevar a interpretaciones erróneas con consecuencias, a veces, muy desfavorables para el cultivo. Es indispensable, entonces, controlar estos datos con el estado hídrico efectivo del viñedo para asegurar la eficacia de las labores culturales y, específicamente, de la estrategia de riego. Entre los métodos de evaluación del estado hídrico del viñedo, la técnica de la cámara de presión es la más confiable (SCHOLANDER et al., 1965) (Figura 1).

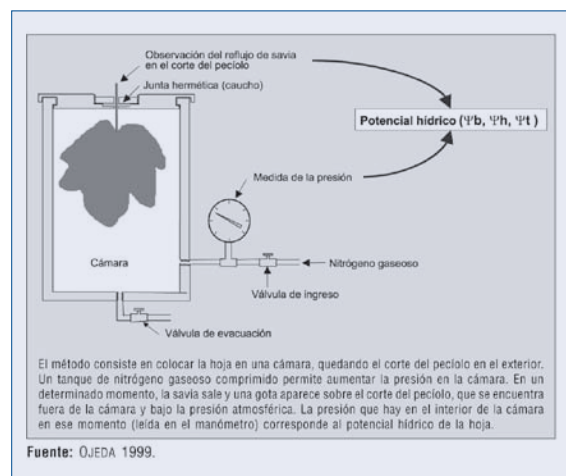
Consiste en estimar, mediante la utilización de un gas inerte aplicado a presión sobre una hoja, la capacidad de las células para retener el agua. Mientras menos

Cuadro 1
Potenciales hídricos foliares de base (Ψ_b) y estado hídrico de la vid (CARBONNEAU 1998)

CUADRO 1	
Potenciales hídricos foliares de base (Ψ_b) y estado hídrico de la vid (CARBONNEAU 1998)	
$p_{htb} (\Psi_b)$	Estado hídrico de la vid
0 Mpa = $-\Psi_b = -0,2$ Mpa	Restricción hídrica ausente a leve
- 0,2 Mpa > $-\Psi_b = -0,4$ Mpa	Restricción hídrica leve a media
- 0,4 Mpa > $-\Psi_b = -0,6$ Mpa	Restricción hídrica media a fuerte
- 0,6 Mpa > $-\Psi_b$	Restricción hídrica fuerte

agua libre haya en la planta, más fuerte será la presión necesaria para hacerla salir. El resultado se expresa en Bares o en Mega Pascales (MPa), siempre en valores negativos (1 MPa = 10 bares). El método de referencia actual es la medida del potencial hídrico foliar de base (Ψ_b) que se toma antes de la salida del sol, cuando los estomas de las hojas están aún cerrados y la planta ha podido reequilibrar durante la noche su estado hídrico en relación al agua del suelo (KATERJI y HALLAI-RE 1984, VAN ZYL 1987, CARBONNEAU y OLLAT 1991, LEBON y SHULTZ 1996). Existe entonces una buena

Figura 1
Esquema de la cámara de presión



¹ INRA Unité Expérimentale de Pech Rouge, GRUISSAN, France.

² AGRO Montpellier, UMR 1083 "Sciences Pour l'Oenologie"; 2 Place P. Viala, F-MONTPELLIER CEDEX 1., France.

³ Ningxia University of China, Yinchuan, Ningxia, China.

relación entre el estado hídrico de la planta medido por el Ψ_b y la reserva útil de agua del suelo. Con este fin, valores de umbrales de Ψ_b , provenientes de un conjunto de observaciones en las regiones francesas de Bordeaux y del Languedoc, han sido propuestos por CARBONNEAU (1998) para apreciar el nivel de restricción hídrica soportado por la planta. Los umbrales aproximados provienen de 2 décadas de observaciones en un conjunto de viñedos y de variedades. Más adelante veremos cómo influyen estos umbrales en las características morfológicas y fisiológicas de la planta.

Sin embargo, otros métodos de determinación del potencial hídrico foliar pueden ser utilizados: la medida del potencial de hoja (Ψ_h) o del potencial de "tallo" (Ψ_t) (CHONÉ et al, 2001) que en definitiva se trata del potencial de una hoja "embolsada" no transpirante (CARBONNEAU et al., 2003). Estas medidas se realizan en el curso del día. La diferencia entre estos métodos (que utilizan todos la cámara de presión) se debe al estado de los estomas. El Ψ_b se toma en una planta cuyos estomas están cerrados y que ha tenido la posibilidad de tener su estado hídrico reequilibrado con el del suelo. El potencial de hoja durante el día (Ψ_h), se toma en hojas en regulación estomática, por lo tanto informa sobre el estado hídrico de una planta entera en actividad (transpiración, fotosíntesis,...). El potencial de hoja "embolsada" o de "tallo" (Ψ_t) concierne a una hoja que ha sido puesta en una bolsa de plástico y en la oscuridad y

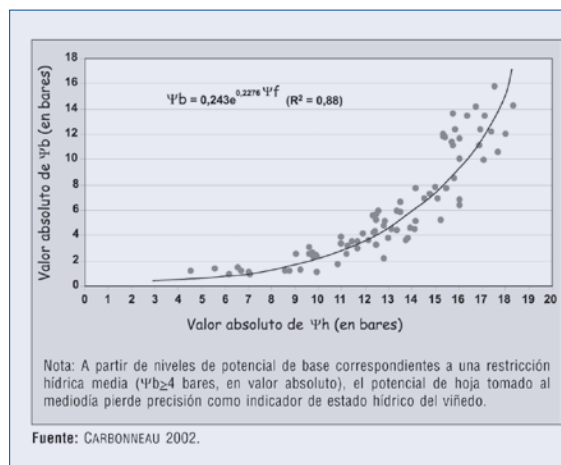
Foto 1

Sin restricción hídrica. Viñedo con exceso de vigor provocado por demasiado aporte de agua de riego que provoca la presencia de una canopia densa, desfavorable al microclima de los racimos, a la maduración de la uva y a la penetración de los productos fitosanitarios. Cepaje: syrah. Lugar: Unidad Experimental de Pech Rouge, Gruissan, Francia. Fecha: julio 2003. (Foto: MARC HEYWANG)



Gráfico 1

Relación entre el potencial hídrico foliar de base (Ψ_b) y el potencial hídrico foliar al mediodía (Ψ_h) en vides cv. garnacha



que en ciertas situaciones, particularmente bajo clima mediterráneo, está efectivamente desconectada del funcionamiento hídrico de la rama de la planta y es incapaz de jugar su rol de reservorio hídrico (CARBONNEAU et al, 2003).

Actualmente están en estudio las relaciones existentes entre estos 3 métodos; sin embargo, nuestra experiencia indica que los potenciales de hoja o de "tallo" serían buenos indicadores sólo en situaciones de res-

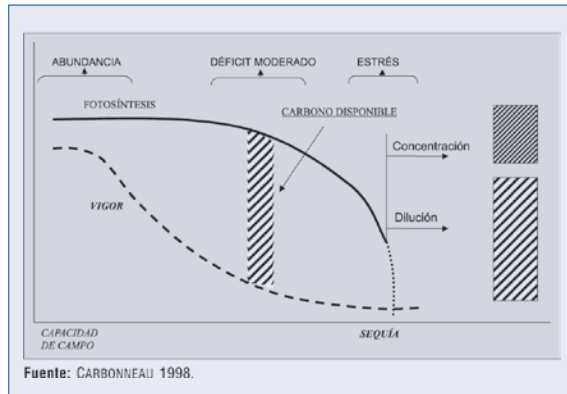
Foto 2

Restricción hídrica severa. Viñedo con problemas de debilitamiento provocado por una sequía excesiva. Consecuencias: detención del crecimiento vegetativo; amarillamiento y caída de hojas basales; reducción importante de la fotosíntesis; reducción importante del rendimiento; reducción significativa de la acumulación de azúcares; perturbación de la biosíntesis de antocianinas. Cepaje: syrah. Lugar: Unidad Experimental de Pech Rouge, Gruissan, Francia. Fecha: julio 2003. (Foto: MARC HEYWANG)



Gráfico 2

Tendencias en las respuestas de la fotosíntesis, del vigor, del carbono asimilable y de su distribución en la uva en función de un nivel creciente de restricción hídrica en el viñedo



tricción hídrica de leve a media, como es el caso de los terroirs bordeleses (CHONÉ et al, 2001), perdiendo sensibilidad a medida que la restricción aumenta. El potencial de base es un indicador más sensible, y por consecuencia más útil, en situaciones de restricción de media a fuerte, como es el caso de la mayoría de los terroirs del sur de Francia y de los viñedos irrigados (Gráfico 1).

Otras técnicas morfológicas o fisiológicas han sido probadas como indicadores de restricción hídrica,

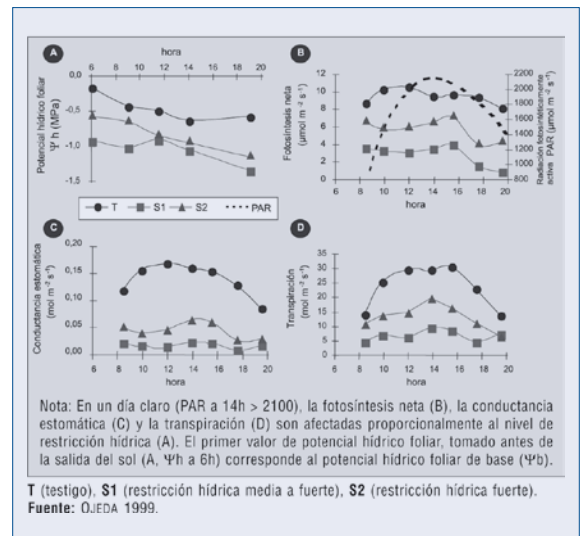
Foto 3

Restricción hídrica moderada. Viñedo equilibrado por una restricción hídrica moderada con consecuencias favorables sobre el crecimiento vegetativo y la maduración de la uva (desarrollo vegetativo controlado; disminución del tamaño de la baya; aumento de la relación hollejo/pulpa; aumento de la concentración de azúcares y polifenoles). Cepaje: syrah. Lugar: Unidad Experimental de Pech Rouge, Gruissan, Francia. Fecha: julio 2003. (Foto: MARC HEYWANG)



Gráfico 3

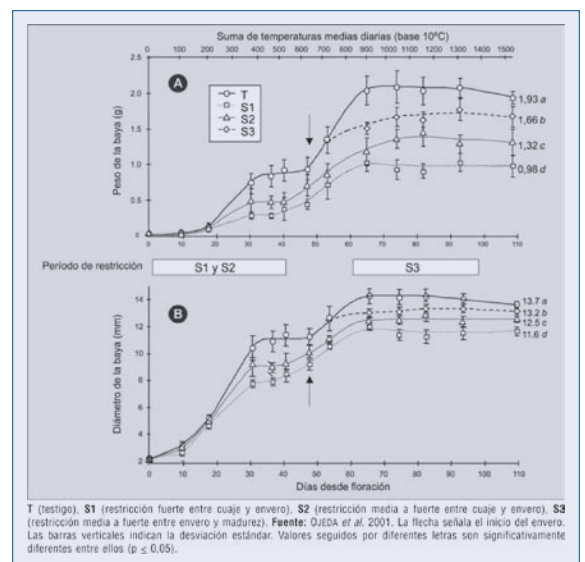
Evoluciones del potencial hídrico de la hoja (A), de la fotosíntesis neta (B), de la conductancia estomática (C) y de la transpiración (D) durante el curso de un día claro, de plantas de syrah sometidas a diferentes intensidades de restricción hídrica



como el flujo de savia, la variación micrométrica de los frutos, del tallo y del tronco, la necrosis del ápice, el ángulo entre el pecíolo y el limbo de la hoja, las temperaturas de la superficie de las hojas, la fotosíntesis, la transpiración o la biosíntesis de ácido abscísico (SMART 1974, TURNER 1981, VAN ZYL 1986, VALANCOGNE y NASR 1989, WILLIAMS et al. 1994, LE CLECH 1996; DRY y LOVEYS 1998). Estas técnicas son todavía muy experimentales y en todos los casos no permiten, hasta ahora, comprender la calidad de la vendimia y a veces, incluso, llevan a malas interpretaciones de datos y a consejos vitícolas y enológicos incorrectos.

Gráfico 4

Evolución del peso (A) y del diámetro (B), de bayas de syrah sometidas a diferentes tratamientos hídricos



Fotos 4 y 5

Riego por goteo. Viñedo equipado con sistema de riego presurizado. El riego por goteo es fundamental por su aptitud para economizar agua y por la exactitud de su manejo. Cepaje: cabernet-sauvignon. Lugar: Valle de Curicó, Chile.

Fecha: diciembre 2003. (Fotos: HERNÁN OJEDA)



Una técnica que utiliza la discriminación isotrópica del carbono ($\delta^{13}C$) por la fotosíntesis está en estudio (GAUDILLÈRE et al., 2002). Esta técnica permitiría la clasificación de parcelas en relación al estado hídrico del viñedo mediante el análisis de la uva en la vendimia. Sin embargo, para comprender la evolución bioquímica de la baya y, por ende, del potencial cualitativo de la vendimia, son necesarias medidas cinéticas de la evolución del estado hídrico del viñedo correlacionados a análisis de la evolución bioquímica de la baya, a veces incluso desde el estado de su crecimiento herbáceo. Esto es fundamental si queremos poder monitorizar las tareas culturales, entre ellas el riego y las técnicas enológicas (DELOIRE et al., 2002).

II.8.2. El estado hídrico, el crecimiento vegetativo y la fisiología de la planta

Recordemos que un exceso de vigor debido a un exceso de agua o de nitrógeno, produce un follaje denso, desfavorable al microclima de los racimos, a la maduración de la uva y a la penetración de los productos fitosanitarios.

El crecimiento vegetativo es lo primero que se ve afectado cuando la vid comienza a estar sometida a una restricción hídrica. El crecimiento de los brotes disminuye o, incluso, se detiene a niveles de restricción más bajos que los que afectan el crecimiento reproductivo o la fotosíntesis.

Una sequía progresiva durante el período de maduración, de una intensidad limitada para no afectar significativamente la fotosíntesis, favorece la acumulación de azúcares y, sobre todo, de compuestos fenólicos a expensas del crecimiento vegetativo (SEGUIN 1975, BRAVDO et al. 1985, CARBONNEAU 1987). El Gráfico 2 sintetiza la evolución de la fotosíntesis, del vigor y del carbono acumulable en respuesta a una restricción hídrica creciente.

Cuando la restricción hídrica pasa un determinado umbral, la fotosíntesis neta está afectada y esta reducción es proporcional al nivel de la restricción (Gráfico 3). Lo mismo ocurre con otros parámetros fisiológicos como la conductividad estomática y la transpiración. Todos estos parámetros están además estrechamente vinculados a la arquitectura de la planta, determinada por el sistema de conducción, que influye significativamente sobre la relación entre la superficie foliar expuesta y la producción de uva (SFE/p; m²/kg) y, consecuentemente, sobre la calidad de la vendimia y la acumulación de azúcares de reserva (CARBONNEAU 1995, MURISIER 1996).

II.8.3. El estado hídrico y el crecimiento de la baya

El tamaño de la baya es fuertemente dependiente de la alimentación hídrica durante el período de flo-

Foto 6

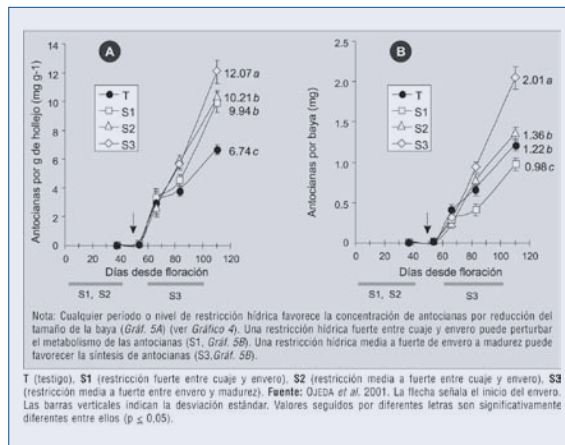
Riego gravitacional por surcos. Viñedo regado tradicionalmente por surcos. Este tipo de riego necesita de acceso a una distribución sistematizada del agua, a una preparación adecuada del terreno y a una disponibilidad importante de agua por su baja eficiencia debido a las altas pérdidas por lixiviación. Cepaje: chardonnay. Lugar: Luján de Cuyo, Mendoza, Argentina. Fecha: diciembre 2001.

(Foto: HERNÁN OJEDA)

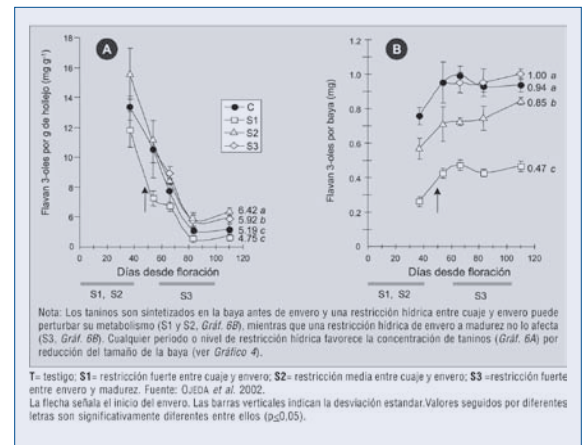


Gráfico 5

Contenido de antocianos, expresados en equivalentes de mg de malvidina, (A) por mg de peso fresco de hollejo y (B) en mg por baya, de bayas de syrah sometidas a tratamientos de restricción hídrica

**Gráfico 6**

Contenido de flavan 3-oles (taninos monómeros), expresados en equivalentes de mg de catequina, (A) por mg de peso fresco de hollejo y (B) en mg por baya, de bayas de syrah sometidas a tratamientos de restricción hídrica



ración–envero (HARDIE y CONSIDINE 1976, BECKER y ZIMMERMANN 1984, MCCARTHY 1997, OJEDA et al. 2001). OJEDA et al. (2001) observaron que la restricción hídrica no afecta a la división celular pero disminuye el volumen celular. Esta disminución es irreversible, aunque la restricción se interrumpa desde envero a madurez. En la práctica, este tipo de restricción puede presentarse en zonas con bajas precipitaciones donde el riego es una técnica absolutamente necesaria para el cultivo de la vid, como en el caso de las zonas vitícolas argentinas. También puede presentarse con cierta frecuencia, según los años, en las zonas vitícolas del sur de Francia. Sin embargo, estas restricciones precoces son relativamente débiles en las zonas donde la irrigación no es necesaria, como ocurre en el resto de los terroirs franceses.

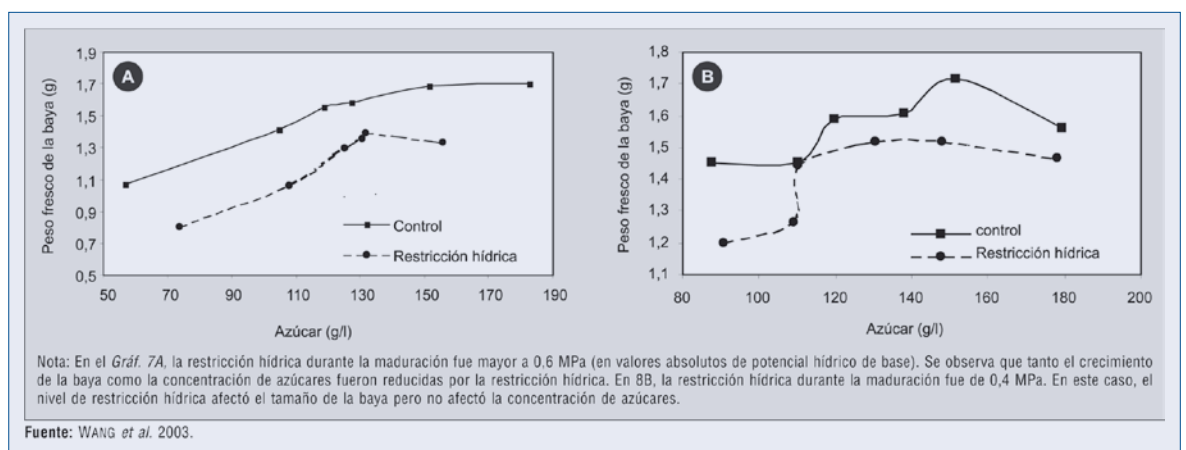
El tamaño de la baya está, sin lugar a dudas, mucho menos influenciado por el régimen hídrico desde envero a madurez (Gráfico 4) y, a diferencia de la res-

tricción entre floración y envero, las bayas pueden recuperar su tamaño si las restricciones hídricas se suprimen algún tiempo antes de la cosecha (SMART et al. 1974, VAN ZYL 1984, NAOR et al. 1993, PONI et al. 1994, MCCARTHY 1997).

La reducción controlada del tamaño de la baya puede ser un objetivo de calidad considerando que la dimensión de las bayas condiciona la relación superficie/volumen y, por lo tanto, la dilución de los constituyentes específicos del hollejo en el volumen de mosto o de vino (SINGLETON 1972, CORDONNIER 1976, OJEDA et al. 2002). Así, una restricción hídrica moderada, iniciada precozmente, reducirá el tamaño de la baya aumentando la concentración final de polifenoles y aromas. Habrá una reducción de la producción debido, exclusivamente, a la disminución del tamaño de la baya, único componente del rendimiento que será afectado, dando como resultado racimos más sueltos, mejor aireados y, consecuentemente, más sanos.

Gráfico 7

Relación entre la concentración de azúcares (g/L) y el peso fresco de la baya durante la maduración: comparación entre 2 niveles de restricción hídrica



II.8.4. El estado hídrico y la composición de la baya

La composición de la baya referida, principalmente, a los azúcares, la acidez (ác. málico y ác. tartárico) y a los compuestos fenólicos (taninos, proantocianidinas, flavonoles, antocianinas,...) es muy dependiente del estado hídrico de la vid, del microclima de los racimos y de la arquitectura de la vegetación (CARBONNEAU et al. 1978, NAOR et al. 1993, PRICE et al. 1995, OJEDA et al. 2002).

Los estudios emprendidos sobre la evolución de los fenoles de la baya como marcadores de respuesta de la vid permiten realizar varias observaciones (DELOIRE et al. 2001, OJEDA et al. 2002) en cuanto a la importancia de:

a) Considerar la evolución de ciertos metabolitos desde la fase herbácea del crecimiento de la baya (cuaje – envero). En este sentido es interesante tener en cuenta la influencia de las labores culturales realizadas sobre el viñedo desde este período, para comprender e interpretar el crecimiento y la bioquímica de la baya en relación con la calidad de la vendimia.

b) Disociar, para interpretar situaciones diferentes, los resultados que expresan la concentración, relacionada al tamaño de las bayas, de aquellos que expresan los fenómenos de biosíntesis. Estudios realizados en syrah han permitido demostrar 2 tipos de respuestas de la baya a la restricción hídrica:

1) una acción directa y siempre positiva sobre la concentración de fenoles por efecto de la reducción

del tamaño de la baya, 2) una acción directa sobre la biosíntesis, que puede ser positiva o negativa según el tipo de fenol estudiado, el período de aplicación y la intensidad de la restricción hídrica (Gráficos 5 y 6).

c) Razonar las relaciones “estado hídrico de la planta – bioquímica de la baya” considerando para una restricción hídrica dada, el período en que sobreviene, su duración y su intensidad. Es así que las variedades syrah y garnacha, a partir de un cierto nivel de restricción hídrica, no reaccionan exactamente de la misma manera, en término de biosíntesis de antocianos o de flavonoles.

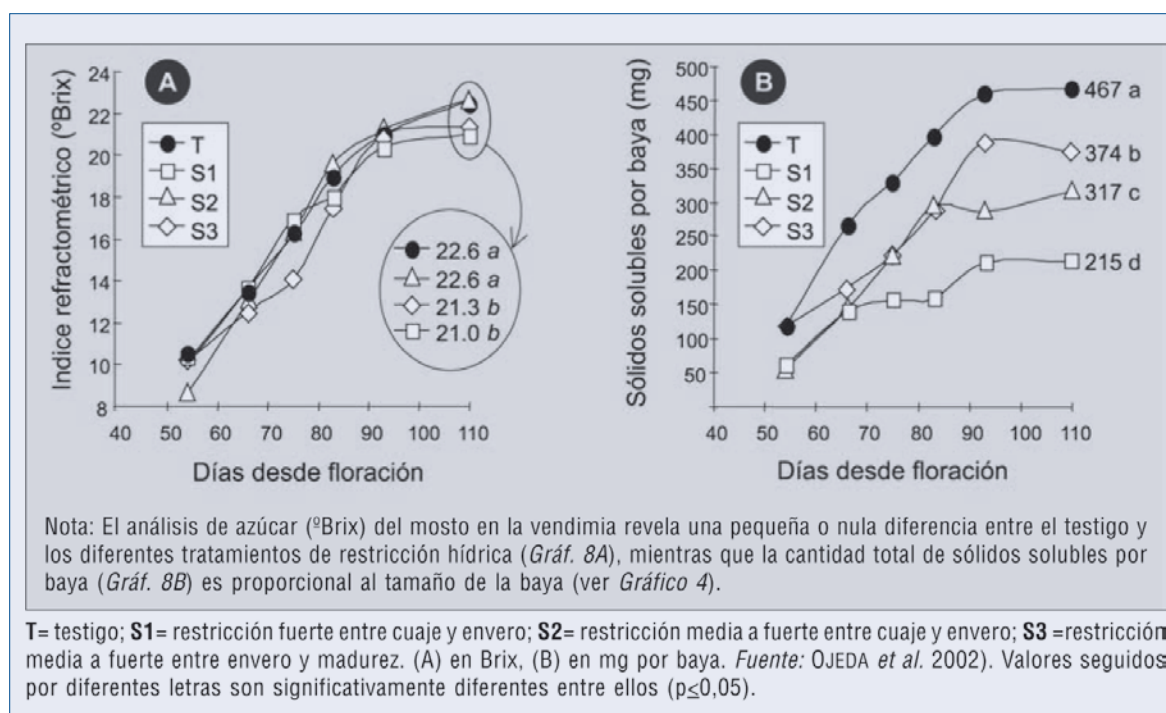
Algunos de los compuestos fenólicos estudiados tienen un papel en la biodefensa de las bayas. Las relaciones entre el estado hídrico de la planta y su capacidad de defenderse contra bio-agresores se puede razonar en relación con el microclima de los racimos y la arquitectura de la vegetación. (DELOIRE et al. 1998, DELOIRE et al. 1999, DELOIRE et al. 2001).

La carga en azúcares de la baya depende de las condiciones ambientales y de la variedad que, en conjunto, determinan la eficiencia del agua y del carbono de la planta (SCHULTZ 1993, KATERJI et al. 1994, CARBONNEAU 1996, ZUFFEREY et al. 2000).

La concentración de azúcares de la uva, en grados brix o en gramos de azúcar por litro, parece independiente del volumen de la baya pero está en estrecha relación con el estado hídrico del viñedo y su la capacidad fotosintética (Gráfico 7). Dependiendo de la

Gráfico 8

Contenido de sólidos solubles, medido por refractometría, de bayas de syrah sometidas a tratamientos de restricción hídrica



severidad de la restricción hídrica, una reducción del crecimiento vegetativo (i.e. el vigor de la planta) puede compensar la reducción de la actividad fotosintética sin afectar la concentración de azúcares.

El efecto biosíntesis/concentración, que ya describimos para fenoles, también se presenta en el caso de los azúcares de la baya (Gráfico 8). Así, la concentración de azúcares por baya, expresado en grados Brix (Gráfico 8A), no permite diferenciar claramente el efecto depresivo de la restricción hídrica sobre la fotosíntesis, mientras que la cantidad total de azúcar por baya, expresada en mg (Gráfico 8B), muestra claramente cómo los diferentes tratamientos de restricción hídrica bloquearon la acumulación de azúcares al afectar el crecimiento de la baya y al disminuir la fotosíntesis.

II.8.5. Modelos de estrategias de riego posibles

Como hemos visto, la respuesta de la vid al estado hídrico está estrechamente ligada al período vegetativo. En zonas irrigadas, es posible plantear una estrategia de riego en función de los objetivos del viñedo, su período vegetativo, y el nivel de la restricción hídrica (Gráfico 9).

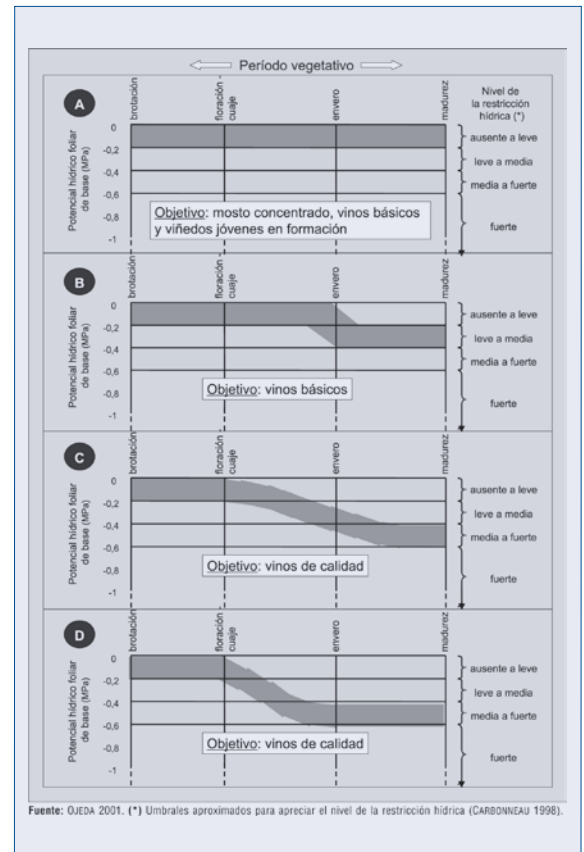
Así, para un viñedo orientado hacia la producción de mosto concentrado, cuyo objetivo es una producción elevada de azúcar por hectárea, la estrategia de riego a seguir será de evitar una restricción hídrica durante la totalidad del período vegetativo (Gráfico 9A) para favorecer los rendimientos elevados a partir de la mayoría de sus componentes. Esta misma estrategia debe seguirse en los viñedos jóvenes en etapa de formación.

Para un viñedo cuyo objetivo es el vino de mesa, una estrategia posible puede ser producir una restricción hídrica ligera y progresiva hacia el final del período comprendido entre envero y madurez (Gráfico 9B) para no afectar significativamente el tamaño de las bayas ni la fotosíntesis, favorecer la acumulación de azúcares y de antocianos (color) a expensas del crecimiento vegetativo.

Para los vinos de calidad, la estrategia de producir una restricción progresiva hacia el período de maduración es propicia para una reducción del tamaño de las bayas y, por consiguiente, de los rendimientos (Gráfico 9C) y favorece además la concentración de los compuestos fenólicos, principalmente los antocianos. Otra opción posible es seguir una evolución del tipo del Gráfico 9D, para asegurar un control más fuerte del tamaño de la baya, un aumento significativo de la concentración de fenoles y, en definitiva, de la calidad del vino.

En ningún caso es conveniente realizar una restricción hídrica mayor al nivel de restricción hídrica moderada

Gráfico 9
Diferentes modelos de estrategias de riego posibles en función del período vegetativo y del tipo de producto buscado: (A) mosto concentrado, vinos básicos, jóvenes viñedos; (B) vinos básicos; (C) y (D) vinos de calidad



a fuerte. Tal situación, prolongada en el tiempo, puede ser desfavorable para la calidad de la uva e incluso para la perennidad del viñedo.

II.8.6. Conclusiones

Se sabe que el estado hídrico de un viñedo está estrechamente relacionado con el clima, el suelo y la planta. Y, en esta última, tiene gran importancia el sistema radical y la arquitectura del follaje.

La restricción hídrica es una herramienta fundamental como reguladora del rendimiento y de la calidad de uvas y vinos. En zonas donde la irrigación no es necesaria, como ocurre en la mayoría de los terroirs europeos, el control del estado hídrico del viñedo se realiza, con ciertos límites, a través del manejo del suelo y de la conducción del viñedo. En zonas con bajas precipitaciones donde el riego es una técnica absolutamente necesaria para el cultivo de la vid, como en el caso de las zonas vitícolas de la mayoría de los países llamados "del Nuevo Mundo vitivinícola", es fundamental conocer las estrategias de riego a seguir en función de los objetivos del viñedo.

Cuadro 2

Relación entre el estado hídrico de la vid y las consecuencias morfológicas y fisiológicas en la planta y el viñedo. Ejemplos de recomendaciones posibles orientadas a la producción de uvas y vinos en zonas bajo riego y en secano. Las situaciones presentadas aquí suponen la adaptación de la cepa a la zona donde está implantada y la ausencia de otras restricciones aparte de las hídricas. Las informaciones del cuadro se pueden utilizar para las principales variedades, con ciertos ajustes (DELOIRE et al. 2003)

Estado hídrico del viñedo (Ψ_b , MPa)	Periodo fenológico	Caracterización de la restricción hídrica	Efectos morfológicos y fisiológicos	Comentarios	Recomendaciones para el manejo del viñedo	
					En zonas sin riego	En zonas con riego
0 a -0,2 MPa	brotación a maduración	nula a muy leve	Vigor excesivo, competencia entre brotes y racimos y dilución de los metabolitos de la baya.	desfavorable	Posible mejora del drenaje; controlar la densidad de plantación sobre el rango; utilización de coberturas vegetales; suprimir la fertilización nitrogenada; posible deshoje a la altura de racimos desde cuaje a cierre del racimo.	Disminuir o anular el riego hasta alcanzar valores adecuados de estado hídrico; recomendaciones de manejo similares a zonas sin riego.
0 a -0,2 MPa	brotación a floración	nula a muy leve	Crecimiento normal	favorable	Razonar la carga en función de la SFEp; posibilidad de utilizar cobertura vegetal poco competitiva con el viñedo si hubieran problemas de erosión.	Es conveniente regar antes de brotación para "cargar" el suelo en reserva de agua. Luego suprimir los riegos hasta la floración (salvo que el Ψ_b baje a niveles fuera del óptimo).
-0,2 a -0,4 MPa	floración a cierre del racimo / envero	media y progresiva	Vigor controlado, crecimiento vegetativo disminuido; disminución irreversible del tamaño de la baya; aumento de la relación hollejo/pulpa; concentración de metabolitos; bioquímica no perturbada	favorable	Razonar la carga en función de la SFEp.	Razonar la carga en función de la SFEp.
-0,4 a -0,6 MPa	floración a cierre del racimo / envero	media a fuerte	Disminución y/o detención del crecimiento vegetativo; desequilibrio de la relación SFEp/producción; disminución o bloqueo del crecimiento de la baya; posible perturbación de la síntesis de taninos y de la futura síntesis de antocianos	desfavorable	Suprimir las coberturas; adaptar los trabajos de suelo (roturación); aumentar la relación SFEp/producción; desbrote o raleo de racimos para reducir producción; posibilidad de aplicación de riego para subir los Ψ_b a -0,4 MPa.	Según el tipo de suelo aumentar la lámina o la frecuencia de riego.
-0,4 a \geq -0,6 MPa	envero a cosecha	media a fuerte y progresiva	Disminución y/o detención del crecimiento vegetativo; reducción de la fotosíntesis; posible amarillamiento de las hojas basales; disminución del tamaño de bayas; reducción de la acumulación de azúcares pero aumento de brix; posible estimulación de la biosíntesis de antocianos; maduración lenta; concentración de metabolitos	favorable	Si se utiliza cobertura vegetal, razonar en función de especies de desarrollo inverno-primaverales, no activas (secas) durante ese período. Aumentar la relación SFEp/producción.	Controlar el estado hídrico y si es necesario regar para que los valores de Ψ_b no bajen del límite inferior buscado.
>-0,6 MPa	envero a cosecha	fuerte a muy fuerte	Detención del crecimiento vegetativo; amarillamiento y caída de hojas basales; reducción importante de la fotosíntesis; reducción importante del crecimiento de la baya; reducción significativa de la acumulación de azúcares; perturbación de la biosíntesis de antocianos	desfavorable	Suprimir las coberturas vegetales; adaptar los trabajos de suelo; aumentar la relación SFEp/producción; desbrote o raleo de racimos para reducir producción; posibilidad de aplicación de riego para subir los Ψ_b a -0,6 MPa.	Según el tipo de suelo aumentar la lámina o la frecuencia de riego.

Referencias: Ψ_b = potencial hídrico foliar de base ; SFEp=superficie foliar expuesta potencial ; MPa= Mega Pascal.

Finalmente, el Cuadro 2 resume los efectos morfológicos y fisiológicos sobre la planta y las alternativas de manejo a tener en cuenta, en viñedos irrigados y no

irrigados, en relación al nivel de restricción hídrica y al estado vegetativo del cultivo.



II.8.7. Referencias bibliográficas

- BECKER N., ZIMMERMANN H.**, 1984. Influence de divers apports d'eau sur des vignes en pots, sur la maturation des sarments, le développement des baies et la qualité du vin. *Bull. O. I. V.*, 573–583.
- BRAVDO B., HEPNER Y., LOINGER C., COHEN S., TABACMAN H.** 1985. Effect of irrigation and crop level on growth, yield and wine quality of Cabernet Sauvignon. *Am. J. Enol. Vitic.* 36 (2), 132–139.
- CORDONNIER R.** 1976. Qualité de la vendange et méthodologie de la sélection viticole *Le Progrès Agricole et Viticole* 93 (24), 760–762.
- CARBONNEAU A., CASTERAN P., LECLAIR PH.** 1978. Essai de détermination, en biologie de la plante entière, de relations essentielles entre le bioclimat naturel, la physiologie de la vigne et la composition du raisin. Méthodologie et premiers résultats sur les systèmes de conduite. *Ann. Amélior. Plantes* 28 (2), 195–221.
- CARBONNEAU A.** 1987. Stress modérés sur feuillage induits par le système de conduite et régulation photosynthétique de la vigne. 3ème Symposium International sur la Physiologie de la Vigne, Bordeaux, 24–27 Juin 1986. O.I.V. Edit., 378–385.
- CARBONNEAU A., OLLAT N.** 1991. Instabilité de la réhydratation tardive des feuilles à l'amorce du régime de transpiration en situation de sécheresse. Exemple de *Vitis vinifera L. cv. Sémillon*. *J. Intern. Sciences Vigne et Vin* 25 (2), 75–83.
- CARBONNEAU A.** 1995. La surface foliaire exposée potentielle – guide pour sa mesure. *Le progrès Agricole et Viticole*, 9, 204–212.
- CARBONNEAU A.** 1996. General relationship within the whole-plant: examples of the influence of vigour status, crop load and canopy exposure on the sink « berry maturation » for the grapevine. *Acta Hort.* 427, 99–118.
- CARBONNEAU A.**, 1998. Irrigation, vignoble et produit de la vigne. In: *Traité d'Irrigation. J.-R. Tiercelin, coord.*. Paris, Lavoisier Tec & Doc. Chapitre IV: Aspects Qualitatifs, 257–298.
- CARBONNEAU A.**, 2002. Gestion de l'eau dans le vignoble: théorie et pratique. *Le progrès Agricole et Viticole*, 21, 455–467.
- CARBONNEAU A., DELOIRE A., COSTENZA P.**, 2003. Le potentiel hydrique foliaire: sens des différentes modalités de mesure. *Gesco XIIIème journées du groupe européen d'étude des systèmes de conduite de la vigne; Montevideo; Uruguay; 3–7 février.*
- CHONÉ X., VAN LEEUWEN C., DUBOURDIEU D., GAUDILLERE J.P.**, 2001. Stem water potential is a sensitive indicator of grapevine water status. *Annals of Botany*, 97 (4), 477–483.
- DELOIRE A., KRAEVA E., DAI G.-H., RENAULT A.-S., ROCHARD J., CHATELAIN C., CARBONNEAU A., ANDARY C.** 1998. Les mécanismes de défense de la vigne. Des utilisations possibles pour lutter contre les pathogènes. *Phytoma* 510, 46–51.
- DELOIRE A.; OJEDA H.; KRAEVA E.; CARBONNEAU A. ET ANDARY C.** 1999. L'Autodéfense des baies de raisin: Une nouvelle composante de la qualité ? *Revue des Oenologues et des techniques vitivinicoles et oenologiques*, N°91, 5–7, 1999.
- DELOIRE A., CARBONNEAU A., OJEDA H., SILVA P., KRAEVA E., JACQUET O. ANDARY C.** 2001. Relations between grapevine water status and berry phenolic compounds of Syrah and Grenache noir varieties. *Proposition for principles of canopy management. Gesco XIIème. Montpellier, France, 3–7 juillet, 1*, 253–258.
- DELOIRE A., LOPEZ F. CARBONNEAU A.** 2002. Réponses de la vigne et terroirs. *Éléments pour une méthode d'étude. Le Progrès Agricole et Viticole*, 4, 78 – 86.
- DELOIRE A., CARBONNEAU A., FEDERSPIEL B., OJEDA H., WANG Z., COSTANZA P.** 2003. La vigne et l'eau. *Le Progrès Agricole et Viticole*, 4, 79 – 90.
- DELOIRE A., SILVA P., MARTIN-PIERRAT S.** 2003. Terroirs et état hydrique du Grenache noir. *Premiers résultats. Le Progrès Agricole et Viticole*, 17, 367 – 373.
- DRY P.R., LOVEYS B.R.** 1998. Factors influencing grapevine vigour and the potential for control with partial rootzone drying. *Australian Journal of Grape and Wine Research* 4, 140–148.
- GAUDILLÈRE J.P., VAN LEEUWEN C., OLLAT N.** 2002. Carbon isotope composition of sugars in grapevine, an integrated indicator of vineyard water status. *Journal of Experimental Botany*, 53 (369), 757–763.
- HARDIE W. J., CONSIDINE J. A.** 1976. Response of grapes to water-deficit stress in particular stages of development. *Am. J. Enol. Viticult.* 27 (2), 55–61.
- KATERJI N., HALLAIRE M.** 1984. Les grandeurs de référence utilisables dans l'étude de l'alimentation en eau des cultures. *Agronomie* 4 (10), 999–1008.

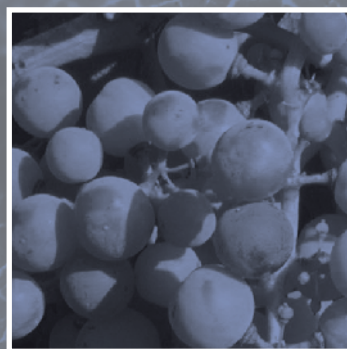
- KATERJI N., DAUDET A. E., CARBONNEAU A., OLLAT N.** 1994. Etude à l'échelle de la plante entière du fonctionnement hydrique et photosynthétique de la vigne: comparaison des systèmes de conduite traditionnel et lyre : *Vitis* ; 33 ; 197–203.
- LEBON E., SCHULTZ H. R.** 1996. Photosynthèse et conductance stomatique de la vigne à l'échelle du couvert pendant un stress hydrique. II. *Validation du modèle. CR GESCO 9*, 157–167.
- LE CLECH B.** 1996. Fonctionnement hydrique de la vigne, de l'échelle de la journée à celle de l'année, étude de quelques conséquences en viticulture. *Thèse de l'Université de Bordeaux 2*. 235p.
- MCCARTHY M. G.** 1997. The effect of transient water deficit on berry development of cv. *Shiraz*. (*Vitis vinifera* L.). *Australian Journal of Grape and Wine Research* 3, 102–108.
- MURISIER E.M.,** 1996. Optimisation du rapport feuille–fruit de la vigne pour favoriser la qualité du raisin et l'accumulation des glucides de réserve. *Relation entre le rendement et la chlorose. Thèse de l'École Polytechnique Fédérale de Zurich*, 132p.
- NAOR A., BRAVDO B., HEPNER Y.** 1993. Effect of post–véraison irrigation level on Sauvignon blanc yield, juice quality and water relations. *S. Afr. J. Enol. Vitic.* 14 (2), 19–25.
- OJEDA H.,** 1999. Influence de la contrainte hydrique sur la croissance du péricarpe et sur l'évolution des phénols des baies de raisin (*Vitis vinifera* L.) cv. *Syrah*. *Tesis doctoral de la Escuela Nacional Superior Agronómica de Montpellier*, 159 p.
- OJEDA, H.** 2001. Bases écophysiológicas et choix techniques dans la gestion de l'eau dans les vignobles d'Argentine. *Le Progrès Agricole et Viticole*, 118 (17): 363–371, 2001.
- OJEDA H., DELOIRE A., CARBONNEAU A.** 2001 – Influence of water deficits on grape berry growth. *Vitis*, 40 (3), 141–145.
- OJEDA H.** 2002. El uso de las restricciones hídricas en viñedos como regulador de rendimiento y calidad. *Jornadas "Tópicos de Actualización en Viticultura y Enología", Departamento de Fruticultura y Enología y CE-VIUC, Pontificia Universidad Católica de Chile. Santiago de Chile, 22 al 24 de julio.*
- OJEDA H., ANDARY C., KRAEVA E., CARBONNEAU A., DELOIRE A.** 2002 – Influence of pre and postvéraison water deficit on synthesis and concentration of skin phenolic compounds during berry growth of *Vitis vinifera* L., cv *Shiraz*. *Am. J. of Enol. and Vitic.*, 53 (4), 261 – 267.
- PONI S., LAKSO A. N., TGRNER J. R., MELIOUS R. E.** 1994. Interactions of crop level and last season water stress on growth and physiology of field–grown Concord grapevines. *Am. J. Enol. Vitic.* 45 (2), 252–258.
- PRICE S. F., BREEN P. J., VALLADAO M., WATSON B. T.** 1995. Cluster sun exposure and quercetin in Pinot noir grapes and wine. *Am. J. Enol. Vitic.* 46 (2), 187–194.
- SCHOLANDER P. F., HAMMEL H. T., BRANDSTREET E. T., HEMMINGSEN E. A.** 1965. Sap pressure in vascular plants. *Science* 148, 339–346.
- SHULTZ H. R.** 1993. A dynamic physiological model of grapevine gas exchange. *Vitic.Enol. Sci.* 48, 86–89.
- SEGUIN G.** 1975. Alimentation en eau de la vigne et composition chimique des moût dans les grands crus du Médoc. *Phénomènes de régulation. Connaissance de la Vigne et du Vin* 9 (1), 23–34.
- SINGLETON V. L.** 1972. Effects on red wine quality of removing juice before fermentation to simulate variation in berry size. *Amer. J. Enol. Vitic.* 23 (3), 106–113.
- SMART R. E.** 1974. Aspect of water relations of the grapevine *Vitis vinifera*. *Amer. J. Enol. Viticult., Vol. 25* N°2, 84–91.
- SMART R. E., TURKINGTON C. R., EVANS J. C.** 1974. Grapevine response to furrow and trickle irrigation. *Am. J. Enol. Vitic.* 25 (2), 62–66.
- TURNER N. C.** 1981. Techniques and experimental approaches for the measurement of plant water status. *Plant and Soil* 58, 339–366.
- VALANCOGNE C., NASR Z.** 1989. Une méthode de mesure du débit de sève brute dans de petits arbres par bilan de chaleur. *Agronomie* 9, 609–617.
- VAN ZYL J. K.** 1984. Reponse of colombar grapevines to irrigation as regards quality aspects and growth. *S. Afr. Enol. Vitic.* 5 (1), 19–28.
- VAN ZYL J. L.** 1986. Canopy temperature as a water stress indicator in wines. *S. Afr. J. Enol. Vitic.* 7 (2), 53–58.
- VAN ZYL J. L.** 1987. Diurnal variation in grapevine water stress as a function of changing soil water status and metreological conditions. *S.Afr. J. Enol. Vitic.* 8, 45–52.
- WANG Z. P., DELOIRE A., CARBONNEAU A., FEDERSPIEL B., LOPEZ F.** 2003 – An In Vivo Experimental System to Study Sugar Phloem Unloading in Ripening Grape Berries during water deficiency stress. *Annals of Botany* 92: 1–6.

WILLIAMS L. E., DOKOOZLIAN N. K., WAMPLE R. 1994. Grape. In: *Handbook of Environmental Physiology of fruit crops. Vol. I. Temperature crops.* B. Shaffer and P. Andersen (Eds.) pp. 85–133. CRC Press, Inc. Florida – USA.

ZUFFEREY V., MURISIER F., SCHULTZ H.R. 2000. A model analysis of the photosynthetic response of *Vitis vinifera* L. cv *Riesling* and *Chasselas* leaves in the field: I. Interactions of age, light and temperature. *Vitis*, 39, 1, 19–26.



II.9. Riego cualitativo de precisión en la vid



- 146** II.9.1. Estado hídrico del viñedo: modelo para el seguimiento y control
- 148** II.9.2. Estrategias de riego en función de los objetivos del viñedo
- 151** II.9.3. Conclusiones
- 152** II.9.4. Referencias bibliográficas



Hernán OJEDA

INRA, Unité Expérimentale de Pech Rouge
Gruissan, Francia.

Original publicado en Revista Enología nº1 Año IV Marzo - Abril 2007

El estado hídrico es un elemento explicativo fundamental del funcionamiento fisiológico de la vid. En este artículo se proporciona cierta información en relación a las consecuencias del estado hídrico sobre el crecimiento vegetativo y reproductivo de la cepa; se describe un modelo óptimo para la vid en función al momento del ciclo vegetativo y a la intensidad de la restricción hídrica; se proponen algunas estrategias de manejo del riego para control del estado hídrico en función de los objetivos de producción buscados y se presentan ejemplos ilustrativos en viñedos comerciales.

Las características de un vino son el resultado de la interacción de numerosos factores naturales, biológicos, agronómicos y enológicos. El hombre, a través del manejo de ciertas variables agronómicas, como la arquitectura de la planta, el manejo del suelo y la protección fitosanitaria o de algunas variables enológicas como el tipo de vinificación, de crianza o la elección de los cortes puede, dentro de ciertos límites, controlar la calidad y tipicidad del vino (Morlat y Asselin 1983). Sin embargo, la posibilidad de intervención del viticultor sobre ciertos factores naturales como el clima y el efecto añada ("millésime") es muy limitada.

El agua y el clima

El clima es un elemento fundamental en la calidad de la uva, a través del comportamiento de sus principales componentes: la radiación solar, la temperatura, la humedad y las precipitaciones (Jackson 1986). Un claro ejemplo de la importancia que se le otorga al clima en viticultura es el gran número de índices climáticos descritos en la bibliografía científica (Amerine y Winkler 1944, Branas *et al.* 1946, Huglin 1983, Constantinescu 1971, Hidalgo 1980, Jackson y Cherry 1988). La mayoría de estos índices se basan en la temperatura y en la heliofanía. Recientemente, Tonietto y Carbonneau (2004) han resaltado la importancia del estado hídrico del viñedo introduciendo un índice de sequía y proponiendo un sistema de clasificación climática multicriterio.

En la vid, el agua es un elemento fundamental para su crecimiento vegetativo y reproductivo y su funcionamiento fisiológico y bioquímico. Por consiguiente, es un factor determinante en el rendimiento y en la

calidad de las uvas y en las características de los vinos. (Carbonneau 1998, Deloire *et al.* 2003a, 2003b, Ojeda *et al.* 2002, 2005).

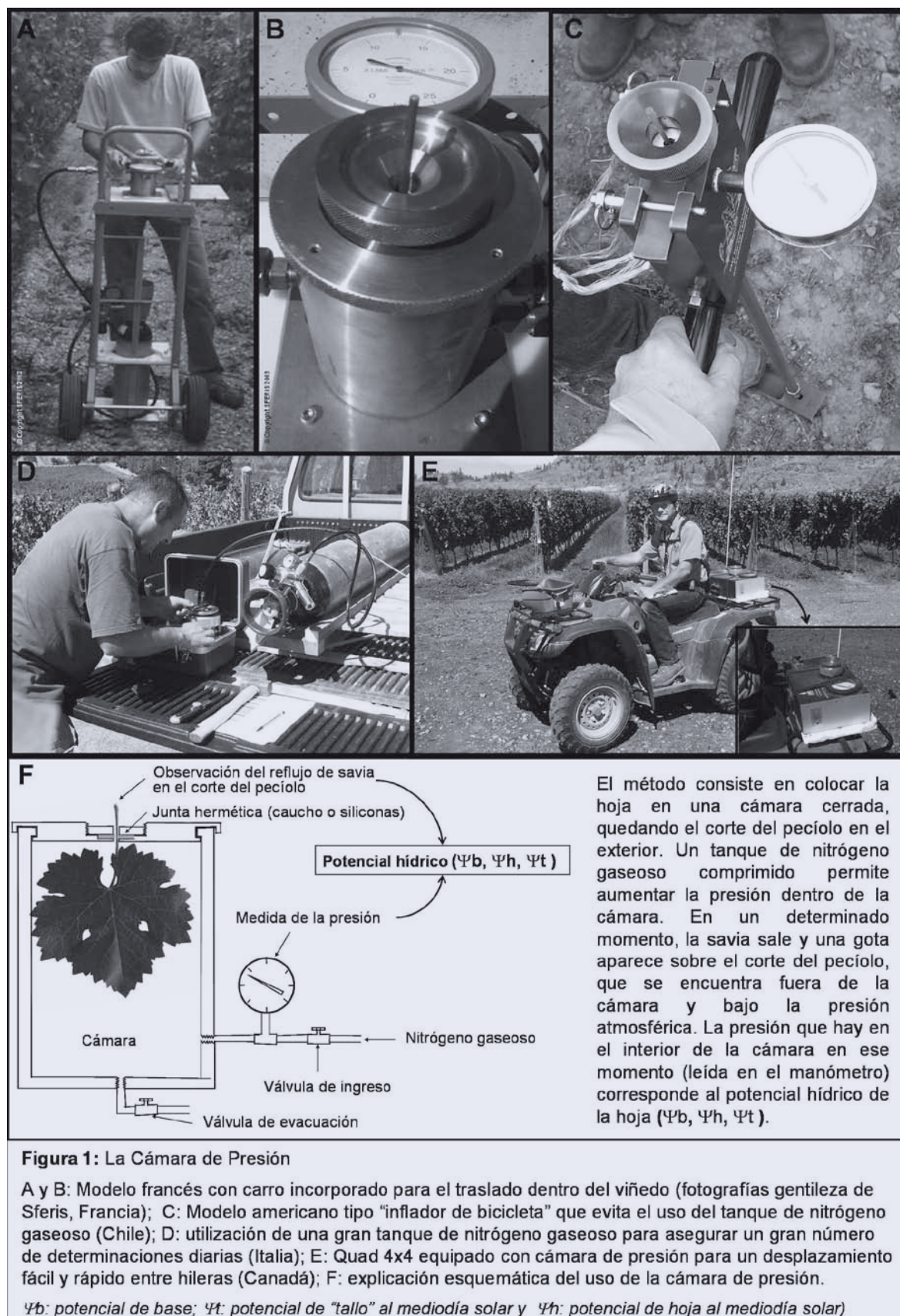
Una sequía progresiva durante el período de maduración, de una intensidad limitada para no afectar significativamente la fotosíntesis, favorece la acumulación de azúcares y, sobre todo, de compuestos fenólicos a expensas del crecimiento vegetativo (Seguin 1975, Bravdo *et al.* 1985, Carbonneau 1987). En efecto, a medida que los niveles de restricción hídrica aumentan, la riqueza de componentes relacionados con la calidad (fenoles, azúcares,..) se acentúa a pesar de una reducción del rendimiento debido principalmente a la disminución del tamaño de la baya. Sin embargo si se sobrepasa un cierto nivel de restricción hídrica (óptimo ?), la uva deja de ganar en componentes denominados "de calidad" mientras que los rendimientos siguen disminuyendo (Ojeda *et al.* 2005). Las restricciones hídricas muy severas provocan un fuerte debilitamiento de las plantas que pueden ocasionar problemas de supervivencia para determinadas variedades si, esta situación persiste durante muchos años sucesivos.

Métodos de control del estado hídrico

En los viñedos el agua es aportada por las lluvias y las capas freáticas. Cuando este aporte no es suficiente para el cultivo de la vid, se debe regar o aceptar las consecuencias de la restricción hídrica que, según la intensidad y el momento del período vegetativo en que ocurra, serán favorables o desfavorables para la calidad de la uva y del vino. Por ello es importante poder medir el estado hídrico del viñedo a escala de la parcela o de un grupo de parcelas. Existen numerosas técnicas directas e indirectas (Ortega-Farías 1999, Hunter y Archer 2001, Hunter y Myburgh 2001, Gaudillère *et al.* 2002, Deloire *et al.* 2004) pero la técnica de referencia sigue siendo, incuestionablemente, el potencial hídrico foliar (Carbonneau 1998, Choné *et al.* 2001, Ojeda *et al.* 2001, Williams y Araujo 2002, Deloire *et al.* 2004).

La utilización del potencial hídrico foliar, que se determina con una cámara de presión (Scholander *et al.*, 1965), ha permitido establecer sólidos umbrales de referencia, validados a escala internacional y con significado universal.





Hasta hace poco tiempo, el uso de este método había estado restringido al ámbito científico pero durante los últimos 5 años ha sido progresivamente adoptado por las empresas vitivinícolas como herramienta confiable para determinar el momento oportuno de riego (Figura 1).

II.9.1. Estado hídrico del viñedo: modelo para el seguimiento y control

Sobre la base del conjunto actual de conocimientos científicos y empíricos, es posible establecer estados hídricos óptimos para la vid en relación al momento

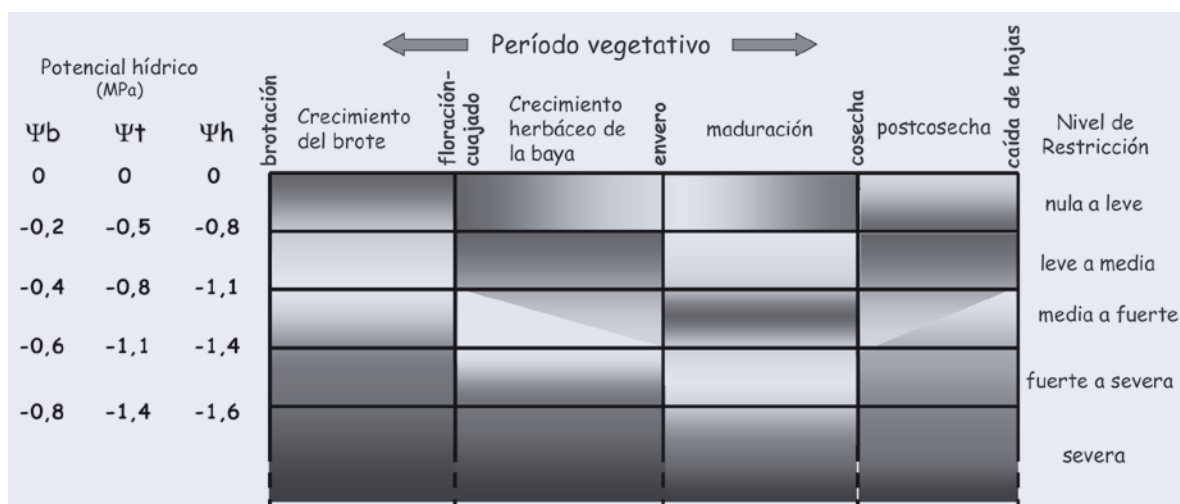


Figura 2: Estados hídricos óptimos (zonas en verde), desfavorables (amarillo) y perjudiciales (zonas en rojo) en función del período vegetativo del viñedo.

Los niveles de restricción hídrica están expresados en Mega Pascales (MPa). La equivalencia entre los diferentes potenciales (Ψ_b : potencial de base; Ψ_t : potencial de "tallo" al mediodía solar y Ψ_h : potencial de hoja al mediodía solar) está basada en los trabajos de Carbonneau 2002, Williams y Araujo 2002, Sibille et al. 2005.

del ciclo vegetativo y a la intensidad de la restricción (Figura 2).

II.9.1.1. Período Brotación – Floración:

Es conveniente que durante el período entre brotación y floración la planta no sufra restricción hídrica o que ésta sea leve (Ψ_b entre 0 MPa y -0,3 MPa) para no afectar el normal crecimiento del brote, imprescindible para un buen desarrollo de la superficie foliar que permitirá una buena alimentación de los racimos y la adecuada provisión de reservas de la planta. Recordemos que el crecimiento vegetativo es lo primero que se afecta cuando la vid comienza a estar sometida a una restricción hídrica. El crecimiento de los brotes disminuye o, incluso, se detiene a niveles de restricción más bajos que los que afectan el crecimiento reproductivo o la fotosíntesis (Williams et al. 1994). Para evitar este tipo de restricciones es común que en zonas irrigadas el viticultor aplique riegos durante la época de reposo invernal para iniciar el ciclo vegetativo con suficiente agua en el perfil del suelo.

II.9.1.2. Período Floración – Cuajado:

Una restricción hídrica demasiado severa durante los primeros días después de floración (valores de Ψ_b P -0,6 MPa) puede reducir la tasa de cuajado y el número de bayas por racimo, por desecación (Hardie y Considine 1976). El racimo completo puede ser también afectado por la deshidratación parcial o total del raquis provocado por una restricción hídrica temprana.

II.9.1.3. Período Cuajado – Envero:

Entre el cuajado y el envero, el estado hídrico tendrá una fuerte influencia sobre el rendimiento del viñedo a través del efecto que ejerce sobre el tamaño de la baya (Hardie y Considine 1976, Becker y Zimmermann

1984, McCarthy 1997, Ojeda et al. 2001). Durante este período la restricción hídrica no afecta la división celular pero disminuye el volumen celular (Ojeda et al. 2001). Esta disminución es irreversible, aunque la restricción se interrumpa desde envero a madurez. En la práctica, este tipo de restricción puede presentarse en zonas con bajas precipitaciones donde el riego es una técnica absolutamente necesaria para el cultivo de la vid, como en el caso de algunas zonas vitícolas argentinas y chilenas. También puede presentarse con cierta frecuencia, según los años, en las zonas vitivinícolas del sur de Europa. Estas restricciones precoces son poco probables en las zonas donde la irrigación no es necesaria.

En ciertas circunstancias, una fuerte demanda evapotranspiratoria durante este período puede generar una aguda deshidratación de la baya, enfermedad fisiológica conocida como "fla" en Francia, como resultado de una competencia por el agua entre el racimo y el resto de la planta (Champagnol 1984, Galet 1995). Este fenómeno aparece con cierta frecuencia en viñedos de merlot de la zona central de Chile (Moreno et al. 2003, Ortega-Farías et al. 2004).

La reducción controlada del tamaño de la baya puede ser un objetivo de calidad considerando que la dimensión de las bayas condiciona la relación superficie/volumen y, por lo tanto, la dilución de los constituyentes específicos del hollejo en el volumen de mosto o de vino (Singleton 1972, Cordonnier 1976, Ojeda et al. 2002). Así, una restricción hídrica moderada (Ψ_b entre -0,3 MPa y -0,4 MPa), iniciada precozmente después del cuajado, reducirá el tamaño de la baya aumentando la concentración final de polifenoles y aromas. Habrá una reducción de la producción debido, exclusivamente, a la disminución del tamaño de la baya, único componente del rendimiento que será afectado, dando como resultado racimos más sueltos,

mejor aireados y, consecuentemente, más sanos.

Sin embargo si la restricción hídrica es excesiva durante este período (Ψ_b inferior a -0,6 MPa) el peso de la baya disminuirá significativamente y será afectada la biosíntesis de algunos polifenoles como los taninos, las proantocianidinas y, en ciertos casos, la posterior síntesis de antociano (Ojeda *et al.* 2002). En consecuencia, la cosecha de un viñedo puede verse reducida en un 30 a 50% con el agravante de una importante pérdida de calidad.

La asimilación de nutrientes también puede verse afectada si una restricción hídrica importante se produce prematuramente durante el ciclo vegetativo. La absorción de agua y de nutrientes están estrechamente asociadas debido a que los elementos minerales están disueltos en la solución del suelo explorable por las raíces (Keller 2005) y el período de mayor consumo de nitrógeno, potasio, fósforo y calcio se produce entre el cuajado y el envero (Fregoni 1985).

II.9.1.4. Período Envero – Maduración/cosecha:

La ausencia de restricción hídrica durante este período (Ψ_b entre 0 y -0,2 MPa) produce un vigor excesivo y favorece rendimientos elevados en el viñedo pero los componentes “cualitativos” de la uva, como polifenoles y azúcares, disminuyen por un efecto de dilución provocado por el aumento del tamaño de la baya (Ojeda *et al.* 2002). No obstante, esto puede ser una estrategia de manejo ventajosa para un viñedo cuyo objetivo es una producción elevada de azúcar por hectárea como es el caso de la industria de mostos concentrados o de zumos de uva.

En contraste, una restricción progresiva hacia el período de maduración es propicia para una reducción del tamaño de las bayas y, por consiguiente, de los

rendimientos, favoreciendo además la concentración de los compuestos fenólicos, principalmente los antocianos.

El estado hídrico del viñedo durante este período determina, en gran medida, el tipo de vino a obtener (Deloire *et al.* 2005). En un extremo, la ausencia total de restricción (Ψ_b entre 0 y -0,3 MPa), produce vinos de tipo herbáceos, diluidos, ácidos. Ante una restricción muy severa (Ψ_b inferiores a -0,8 MPa) los vinos tintos tienden a ser excesivamente tánicos, duros, astringentes y alcohólicos y los blancos pierden gran parte de sus aromas. Es en los estados hídricos intermedios (Ψ_b entre -0,3 y -0,7 MPa) donde los vinos son más equilibrados, dando desde perfiles con una mayor expresión de la fruta hasta más concentrados (Figura 3).

II.9.1.5. Período Cosecha – Caída de hojas

Finalmente, es conveniente que en el período de postcosecha la planta recupere su estado hídrico (Ψ_b superiores a -0,4 MPa). En efecto, durante este período la cepa, ya exenta de uva, orienta sus fotoasimilados hacia las zonas de reservas, raíces, troncos y sarmientos (Champagnol 1984); aumenta la asimilación de nutrientes minerales (Conradie 2005) y retoma el crecimiento de sus raíces (Freeman y Smart 1976, Van Zyl 1984).

II.9.2. Estrategias de riego en función de los objetivos del viñedo

Como hemos visto, la respuesta de la vid al estado hídrico está estrechamente ligada al período vegetativo. En zonas irrigadas, es posible plantear una estrategia de riego en función de los objetivos del viñedo, su período vegetativo, y el nivel de la restricción hídrica (Figura 4).

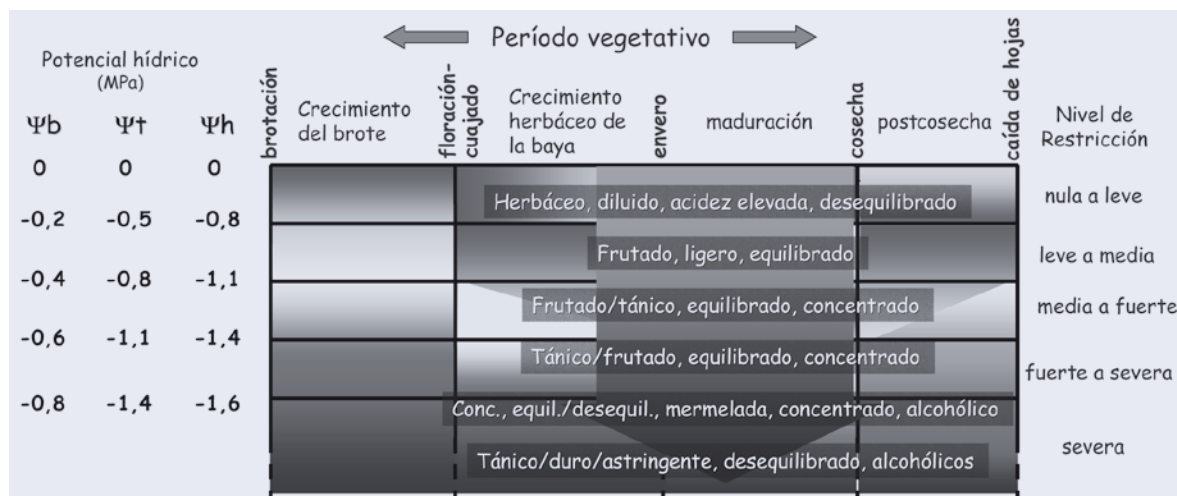


Figura 3: Diferentes “tipos de vino” posibles en función del estado hídrico del viñedo de cuaje a madurez.

Los niveles de restricción hídrica están expresados en Mega Pascales (MPa). La equivalencia entre los diferentes potenciales (Ψ_b : potencial de base; Ψ_t : potencial de “tallo” al mediodía solar y Ψ_h : potencial de hoja al mediodía solar) está basada en los trabajos de Carbonneau 2002, Williams y Araujo 2002, Sibille *et al.* 2005.

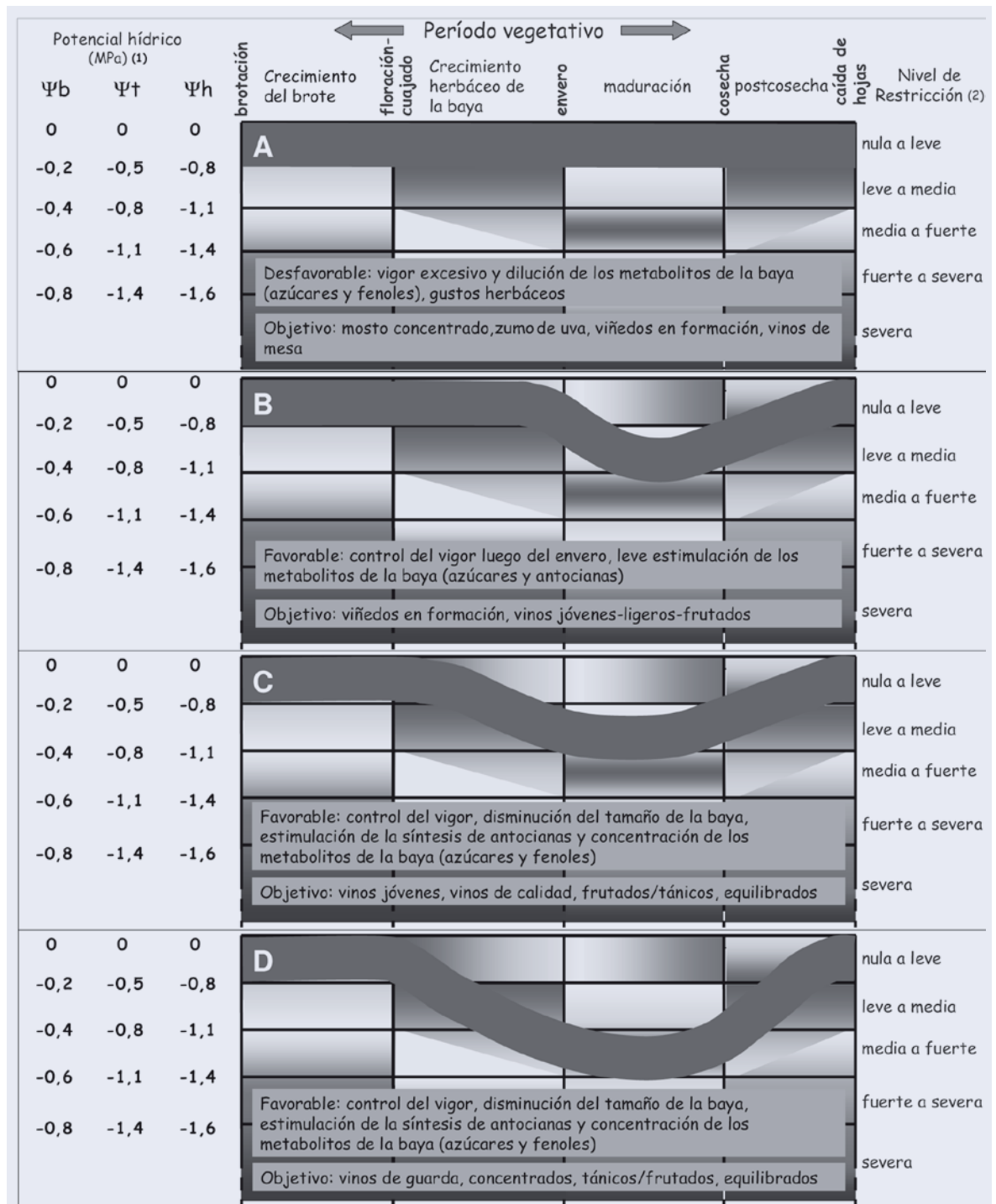


Figura 4: Diferentes modelos de estrategias de riego posibles en función del período vegetativo y del tipo de producto buscado: (A) mosto concentrado, zumo de uva, vinos básicos y jóvenes viñedos en formación; (B) vinos básicos, ligeros, frutados; (C) vinos de calidad, equilibrados pero con predominancia de la fruta sobre la estructura y (D) vinos de calidad, concentrados, equilibrados y aptos para guarda.

(1) Los niveles de restricción hídrica están expresados en Mega Pascales (MPa). La equivalencia entre los distintos potenciales (Ψ_b : potencial de base; Ψ_t : potencial de "tallo" al mediodía solar y Ψ_h : potencial de hoja al mediodía solar) está basada en los trabajos de Carboneau 2002, Williams y Araujo 2002, Sibille et al. 2005.

(2) Umbrales aproximados para apreciar el nivel de la restricción hídrica (Carboneau 1998).

Así, para un viñedo orientado hacia la producción de mosto concentrado, cuyo objetivo es una producción elevada de azúcar por hectárea, la estrategia de riego a seguir será evitar una restricción hídrica durante la totalidad del período vegetativo (Fig. 4 A) para favorecer los rendimientos elevados a partir de la mayoría de sus componentes. Esta misma estrategia debe seguirse en los viñedos jóvenes en etapa de formación o, en

ciertos casos, para la producción de vinos varietales a partir de variedades blancas o tintas donde se busque privilegiar ciertas notas "vegetales" o "especiadas" por una característica de tipicidad buscada.

Para un viñedo cuyo objetivo es un vino blanco aromático o un vino tinto ligero y afrutado, una estrategia interesante es producir una restricción hídrica ligera

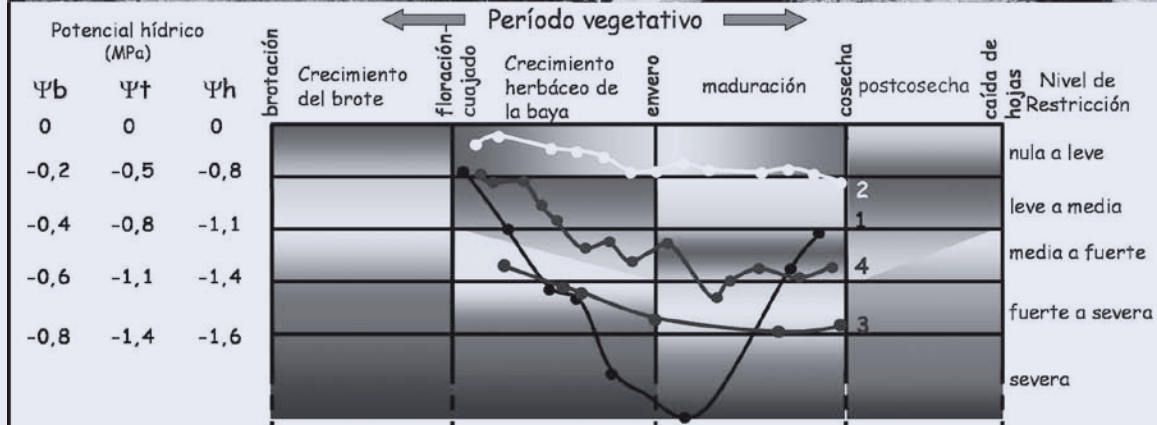


Figura 5. Ejemplo de distintos casos de evolución del estado hídrico en viñedos comerciales (los números de las fotos de la parte superior corresponden a los de las curvas de evolución de los potenciales hídricos de la figura inferior):

- 1) Viñedo de syrah en secano del sur de Francia con restricción hídrica severa y temprana. Obsérvese el débil desarrollo de los brotes y la sobre exposición de los racimos con importantes pérdidas de rendimiento y de calidad (los potenciales hídricos bajan bruscamente luego de floración, situándose en zona de sequía severa durante gran parte del ciclo vegetativo. El ascenso de los potenciales hacia el final del ciclo, debido a la influencia de vientos marinos cargados de humedad, permite la recuperación parcial de las reservas del viñedo y asegura su supervivencia año a año).
- 2) Plantas de sauvignon b. de la zona Osoyoos al Este de Canadá con riego excesivo, principalmente luego del envero, que favorece el exceso de crecimiento vegetativo de feminelas con el consiguiente perjuicio sobre la maduración normal de la uva y el exceso de notas herbáceas (entre envero y cosecha los potenciales muestran una restricción hídrica nula a leve).
- 3) Viñedo de merlot de la zona de la Toscana, Italia, sometido a un excesivo déficit hídrico por un mal funcionamiento del sistema de riego. Las plantas presentan síntomas de amarillamiento e inicio de caída de hojas de la base de los brotes luego del envero (los potenciales hídricos siempre han evolucionado por la zonas amarilla y roja del modelo).
- 4) Parcela de cabernet-sauvignon del Valle del Maipo, en la zona central de Chile con un excelente equilibrio vegetativo luego del envero debido a un adecuado control del estado hídrico: no se observa crecimiento de feminelas por un riego excesivo, ni amarillamiento de hojas de la base por exceso de déficit hídrico (los potenciales hídricos se mantuvieron siempre dentro de la zona verde del modelo).

y progresiva hacia el final del período comprendido entre envero y madurez (Fig. 4 B) para no afectar significativamente el tamaño de las bayas ni la fotosíntesis, favorecer la acumulación de azúcares y de antocianos (color, en el caso de los tintos) a expensas del crecimiento vegetativo.

Para vinos tintos más concentrados, la estrategia de producir una restricción progresiva hacia el período

de maduración es propicia para una reducción del tamaño de las bayas y, por consiguiente, de los rendimientos (Fig. 4 C). Esto favorece además la concentración de los compuestos fenólicos, principalmente los antocianos.

Otra opción posible es seguir una evolución del tipo de la figura 4 D, para asegurar un control más fuerte del tamaño de la baya, un aumento significativo de

la concentración de fenoles (más estructura y color) aunque a expensas de una cierta pérdida en intensidad de aromas. Esta estrategia es muy adecuada para vinos tintos de guarda pero es desaconsejable para vinos blancos, donde debe prevalecer el componente aromático de la uva.

Sea cual sea la estrategia elegida, durante todo el ciclo vegetativo el estado hídrico del viñedo debe situarse dentro de los umbrales óptimos (zonas verdes del modelo) para asegurar el máximo de rentabilidad (Fig. 5-4) y para evitar los problemas causados por exceso de agua (Figura 3-2) o la falta de ella (Fig. 3-3).

Cuando el viticultor no dispone del riego como herramienta de control, no tiene más remedio que aceptar las consecuencias de sequías severas que disminuyen significativamente el rendimiento y la calidad de la uva y del vino (Fig.5-1).

II.9.3. Conclusiones

La restricción hídrica es una herramienta fundamental como reguladora del rendimiento y de la calidad de uvas y vinos. Para regar de manera correcta y precisa, es imprescindible caracterizar el estado hídrico del vi-

ñedo con una metodología confiable que refleje, sin ninguna duda, la realidad del cultivo. La determinación del potencial hídrico es, por ahora, la única técnica que reúne dichas características. Sin embargo, otras técnicas más económicas o fáciles de manipular pueden ser útiles de correlacionar sus valores a las mediciones del potencial hídrico.

En zonas donde la irrigación no es necesaria, como ocurre en gran parte de los viñedos europeos, el control del estado hídrico del viñedo se realiza, con ciertos límites, a través del manejo del suelo y de la conducción del viñedo. En estos casos, el estado hídrico del viñedo, en relación con las reservas de agua útil del suelo, es uno de los factores que mejor explican la variabilidad de la añada (efecto "millésime") y las características del "terroir".

En zonas con bajas precipitaciones donde el riego es una técnica absolutamente necesaria para el cultivo de la vid, como en el caso de las zonas vitícolas de la mayoría de los países denominados "del Nuevo Mundo vitivinícola", es fundamental conocer con precisión las respuestas de la cepa al estado hídrico para poder elegir con éxito las estrategias de riego a seguir en función de los objetivos del viñedo.



II.9.4. Referencias bibliográficas

- Amerine M.A., Winkler A.J. 1944.** Composition and quality of musts and wines California Grapes. *Hilgardia* 15, 493-673.
- Becker N., Zimmermann H. 1984.** Influence de divers apports d'eau sur des vignes en pots, sur la maturation des sarments, le développement des baies et la qualité du vin. *Bull. O. I. V.*, 573-583.
- Branas J., Bernon G., Levadoux L. 1946.** Eléments de viticulture générale. *Ec. Nat. Agr. Montpellier, France*.
- Bravdo B., Hepner Y., Loinger C., Cohen S., Tabacman H., 1985.** Effect of irrigation and crop level on growth, yield and wine quality of Cabernet Sauvignon. *Am. J. Enol. Vitic.* 36 (2), 132-139.
- Carbonneau. A. 1987.** Stress modérés sur feuillage induits par le système de conduite et régulation photosynthétique de la vigne. *3ème Symposium International sur la Physiologie de la Vigne, Bordeaux, 24-27 Juin 1986. O.I.V. Edit.*, 378-385.
- Carbonneau A. 1998.** Irrigation, vignoble et produit de la vigne. In : *Traité d'Irrigation. J.-R. Tiercelin, coord. Paris, La voisier Tec & Doc. Chapitre IV: Aspects Qualitatifs*, 257-298.
- Carbonneau A. 2002.** Gestion de l'eau dans le vignoble : théorie et pratique. *Le Progrès Agricole et Viticole*. 21, 455-467.
- Champagnol F. 1984.** Eléments de Physiologie de la vigne et de viticulture générale. *Montpellier*, 315 p. Impr. Déhan.
- Choné X., Van Leeuwen C., Dubourdiou D., Gaudillere J.P. 2001.** Stem water potential is a sensitive indicator of grapevine water status. *Annals of Botany*, 97 (4), 477-483.
- Conradie W.J. 2005.** Partitioning of mineral nutrients and timing of fertilizer applications for optimum efficiency. In *Proceedings of the Soil Environment and Vine Mineral Nutrition Symposium. P.Christensen and DR Smart (Eds.)*, pp. 69-81. *American Society for Enology and Viticulture, Davis, CA*.
- Cordonnier R. 1976.** Qualité de la vendange et méthodologie de la sélection viticole. *Le Progrès Agricole et Viticole* 93 (24), 760-762.
- Costantinescu G. 1971.** Caractéristiques bioclimatiques des cépages et des vignobles. *Bull. OIV* 44, 483, 399-427.
- Deloire A., Carbonneau A., Federspiel B., Ojeda H., Wang Z., Costanza P. 2003.** La vigne et l'eau. *Le Progrès Agricole et Viticole*, 4, 79 – 90.
- Deloire A., Silva P., Martin-Pierrat S. 2003.** Terroirs et état hydrique du Grenache noir. *Premiers résultats. Le Progrès Agricole et Viticole*, 17, 367 – 373.
- Deloire A., Carbonneau A., Wang Z., Ojeda H. 2004.** Vine and Water, a short review, *J. Int. Sci. Vigne vin*, 38, 1, 1 – 13.
- Deloire A, Ojeda H, Zebic O, Bernard N., Hunter J-J, Carbonneau A. 2005.** Influence of grapevine water status ont the style of wine. *Le Progrès Agricole et Viticole*, 122 (21): 455-462, 2005.
- Fregoni, M. 1999.** Viticoltura di qualità. *Edizioni l'Informatore Agrario S.R.L. Verona, Italia*.
- Freeman B. M., Smart R.E. 1976.** A root observation laboratory for studies with grapevines. *Amer. J. Enol. Vitic.* 27 (1): 36-39.
- Gaudillère J.P., Van Leeuwen C., Ollat N. 2002.** Carbon isotope composition of sugars in grapevine, an integrated indicator of vineyard water status. *Journal of Experimental Botany*, 53 (369), 757-763.
- Galet P. 1995.** Précis de pathologie viticole. *Pierre Galet Ed. 2eme Edition*.
- Hardie W. J., Considine J. A. 1976.** Response of grapes to water-deficit stress in particular stages of development. *Am. J. Enol. Viticult.* 27 (2), 55-61.
- Hidalgo L. 1980.** Caracterización macrofísica del ecosistema medio-planta en los viñedos españoles. *Madrid, Comunicaciones INIA Serie Producción Vegetal*, 29.
- Huglin P. 1983.** Possibilités d'appréciation objective du milieu viticole. *Bulletin de l'OIV*, 634, 823-833.
- Hunter J.J., Archer E. 2001.** Long-term cultivation strategies to improve grape quality. *Proc. 8th Viticulture and Oenology Latin-American Congress*, 12-16 Nov., *Montevideo, Uruguay*.
- Hunter J.J., Myburgh P.A. 2001.** Ecophysiological basis for water management of vineyards in South Africa, with particular reference to environmental limitations. *Proc. 12th Meeting of the Study Group for Vine Training Systems (GESCO)*, 3 – 7 July, *Montpellier, France*. Pp. 23 – 43.
- Jackson D.I. 1986.** Factors affecting soluble solids, acid, pH, and colour in grapes. *Am. J. Enol. Vitic.* 37, 179-183.
- Jackson D.I., Cherry N.J. 1988.** Prediction of a district's grape-ripening capacity using a latitude-temperature index (LTI). *Amer. J. Enol. Vitic.*, 39 (1): 19-28.
- Keller M. 2005.** Déficit irrigation and vine mineral nutrition. *Am. J. Enol. Vitic.* 56 (3): 267-283.

McCarthy M. G. 1997. The effect of transient water deficit on berry development of cv. *Shiraz*. (*Vitis vinifera* L.). *Australian Journal of Grape and Wine Research* 3, 102-108.

Moreno Y., Pardo C., Ortega S, 2003. Deshidratación prematura de bayas en cv. *Merlot*. *Conferencias técnicas Vinitech América Latina*, Pp. 65-71. 10-12 julio 2003, Santiago, Chile.

Morlat R., Asselin C. 1993. Une approche objective des terroirs et typologie des vins en Val de Loire. *C.R. Acad. Agric. Fr.*, 79 (3), 199-212.

Ojeda H., Deloire A., Carbonneau A. 2001 – Influence of water deficits on grape berry growth. *Vitis*, 40 (3), 141- 145.

Ojeda H., Andary C., Kraeva E., Carbonneau A., Deloire A. 2002 - Influence of pre and postveraison water deficit on synthesis and concentration of skin phenolic compounds during berry growth of *Vitis vinifera* L., cv *Shiraz*. *Am. J. of Enol. and Vitic.*, 53 (4), 261 – 267.

Ojeda H., Carillo N., Deis L., Tisseyre B., Heywang M., Carbonneau A. 2005. Viticulture de précision et état hydrique. II : *Comportement quantitatif et qualitatif de zones intra-parcellaires définies à partir de la cartographie des potentiels hydriques. XIV èmes Journées GESCO. Geisenheim, Allemagne. 23-27 Août.*

Orgega-Farias S. 1999. Avances sobre programación del riego en el viñedo: La experiencia chilena. *Seminario Internacional de Programación del Riego, Universidad de Talca, Talca-Chile. 57-64.*

Orgega-Farias S., Acevedo C., Moreno Y., Pardo C. 2004. Deshidratación prematura de bayas en cv. *Merlot*: ¿Un desequilibrio hídrico del viñedo?. *Tópicos de Actualización en Viticultura. Centro de Extensión, Pontificia Universidad Católica de Chile.*

Seguin G. 1975. Alimentation en eau de la vigne et composition chimique des moûts dans les grands crus du Médoc. *Phénomènes de régulation. Connaissance de la Vigne et du Vin* 9 (1), 23-34.

Sibille I., Ojeda H., Prieto J., Maldonado S., Lacapere J-N. 2005. Determinación de la relación entre las tres aplicaciones de la cámara de presión (potenciales hídricos) y evaluación de la respuesta en el comportamiento isohídrico y anisohídrico de cuatro cepajes. *Congreso Latinoamericano de Viticultura y Enología organizado por la Asociación Brasileña de Enología y EMBRAPA Uva y Vino. Bentos Gonçalves, 07 a 11 de noviembre.*

Singleton V. L. 1972. Effects on red wine quality of removing juice before fermentation to simulate variation in berry size. *Amer. J. Enol. Vitic.* 23 (3), 106-113.

Scholander P. F., Hammel H. T., Brandstreet E. T., Hemmingsen E. A. 1965. Sap pressure in vascular plants. *Science* 148, 339-346.

Tonietto, J., Carbonneau, A. 2004. A multicriteria climatic classification system for grape-growing regions worldwide. *Agricultural and Forest Meteorology* 124: 81-97.

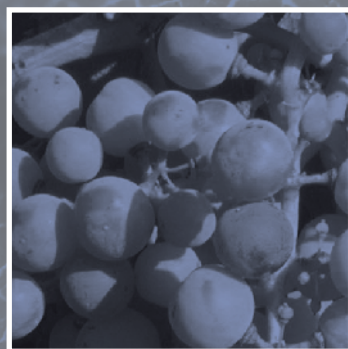
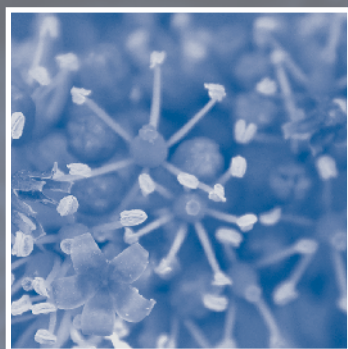
Van Zyl J. K. 1984. Reponse of colombar grapevines to irrigation as regards quality aspects and growth. *S. Afr. Enol. Vitic.* 5 (1), 19-28.

Williams L. E., Dokoozlian N. K., Wample R. 1994. Grape. In : *Handbook of Environmental Physiology of fruit crops. Vol. I. Temperature crops. B. Shaffer and P. Andersen (Eds.) pp. 85-133. CRC Press, Inc. Florida - USA.*

Williams L.E., Araujo F.J. 2002. Correlation among predawn leaf, midday leaf, and midday stem water potential and their correlations with other measures of soil and plant water status in *Vitis vinifera*. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 127 (3): 448 – 454.



II.10. El control del riego en la calidad del vino



155	II.10.1. Introducción general
155	II.10.2. El riego en la vid.
159	II.10.3. Efectos del déficit de agua
160	II.10.4. Conclusiones y Recomendaciones
161	II.10.5. Consideraciones para una adecuada gestión del riego
162	II.10.6. Época de riego

II.10.1. Introducción general

La mayoría de las áreas de producción de uva se caracterizan por climas con temperaturas entre cálidas y elevadas, humedades relativas bajas y escasez de lluvia durante el verano, lo que coincide con la mayor parte de las zonas vitícolas españolas. Estas condiciones provocan que, desde floración acentuándose hasta el final de la época de maduración de la uva, se produzcan déficits de agua en el suelo, que sumado a la alta demanda evapotranspirativa atmosférica, dan lugar a un déficit hídrico acusado en las plantas. La elevada evapotranspiración y las reducidas precipitaciones son los principales factores limitantes del cultivo de la vid en España.

La importancia del agua en las plantas se debe, principalmente, a que:

- Es el mayor constituyente de los tejidos vegetales: entre el 80 y 90 % en especies herbáceas y 50 % en leñosas.
- Actúa como disolvente universal, participando en el transporte de gases, minerales y otros solutos.
- Es un reactivo en procesos tan importantes como la fotosíntesis y la hidrólisis.
- Mantiene la turgencia de las células, esencial en el alargamiento celular, el crecimiento, la apertura de estomas, movimiento de las hojas, pétalos y otras estructuras especializadas de las plantas.

La vid presenta gran capacidad de adaptación a la sequía, aunque igualmente tiene una gran capacidad de respuesta a los aportes de agua. La aplicación del riego tiene una respuesta inmediata en el incremento del crecimiento vegetativo, el rendimiento, composición del mosto y fertilidad de las yemas. La reducción parcial o total del déficit hídrico en el suelo por efecto del riego implica un incremento de la cosecha, aunque existen distintos puntos de vista sobre sus efectos en la calidad del fruto (contenido de azúcares, acidez, polifenoles, antocianos...).

No resulta tampoco sencillo cuantificar las necesidades hídricas de la vid. En la viña no se deben evaluar las necesidades de agua en orden a optimizar su capacidad productiva, sino a la consecución de unos objetivos enológicos, buscando obtener un equilibrio adecuado. En este sentido debería establecerse para cada momento fisiológico las dosis de riego óptimas a aplicar, así como el comportamiento que las distintas variedades de uva tendrán frente a un aporte hídrico moderado y su repercusión en el producto final.

En España, la limitación hídrica, apuntada anteriormente, junto con el cultivo de la vid en terrenos poco fértiles ha dado lugar a que tengamos unos de los rendimientos por superficie más bajos del mundo. A pesar de esto, durante mucho tiempo el riego en los viñedos españoles estuvo prohibido. Así aparecía reflejado en “El Estatuto de la Viña, el Vino y los Alcoholes” (Ley 25/1970), en su capítulo II, artículo 42, donde se cita literalmente “Queda prohibido el riego de la vid”, a excepción de los viveros, viñedos de uva de mesa de determinadas zonas y situaciones especiales.

Esta ley quedó derogada en el año 1996: Ley 8/1996, de 15 de Enero. En el Reglamento (CE) 1493/1999, de 17 de Mayo y la Ley de la Viña y el Vino (Ley 24/2003, 19 de Julio), en su artículo 9, dejan en manos de las Administraciones autonómicas y las instituciones reguladoras de los “vinos de calidad producidos en regiones determinadas” (V.C.P.R.D.), la regulación de la forma y condiciones en que se autorizará el riego, así como las modalidades de aplicación.

II.10.2. El riego en la vid.

II.10.2.1. Relación suelo-planta-atmósfera.

Las máximas tasas de transpiración se producen en hojas bien hidratadas, sanas, expuestas a atmósferas con poca humedad relativa y completamente soleadas. En el follaje, las hojas internas están más frescas, absorben menos radiación y tiene un microclima más húmedo, por lo que la transpiración es menor que en las hojas periféricas.

La transpiración está linealmente relacionada con la superficie foliar, en situación de campo, las hojas expuestas son más importantes que el total de la superficie foliar, estas hojas muestran que es la orientación de la pared foliar y no el total de superficie foliar lo que dicta la cantidad de agua utilizada por la vid si no sufre estrés hídrico. Los resultados muestran que el coeficiente de cultivo es una función lineal del porcentaje de superficie sombreada debajo del tronco al mediodía.

Por tanto, los factores genéticos afectan a la transpiración de la planta en la medida que determinan la cantidad de hojas y algunas características de las mismas, como son; tamaño y forma, orientación, características de la superficie foliar y área foliar, ..., aunque estas características están influidas también por el sistema de conducción.

Cuando la transpiración excede la absorción radicular, se crean una serie de tensiones en los vasos xilemáticos de la planta. Estas tensiones generan una salida de agua desde el interior de las células que rodean a estos vasos, lo que produce una deshidratación, que si es lo suficientemente intensa puede producir la muerte celular. Para evitar esto la planta tiene mecanismos que regulan la transpiración, como el cierre estomático, o para dificultar la salida de agua celular, como el ajuste somático.

El cierre estomático permite disminuir las tasas de transpiración cuando la disponibilidad hídrica es muy baja o cuando la demanda evaporativa es muy elevada, sin embargo este cierre disminuye el intercambio gaseoso y por tanto la actividad fotosintética de la planta.

En el mecanismo del cierre estomático influyen varios factores. Además del estado hídrico de la planta (definido inicialmente por la diferencia entre transpiración y absorción radicular), existen otros factores como el equilibrio hormonal (síntesis en las raíces de ácido abscísico y traslocación a las hojas), la edad de la hoja, o la iluminación de la hoja.

Figura 1
Variación de Potencial en hoja y raíz a lo largo de varios días (Matthews, 2004)

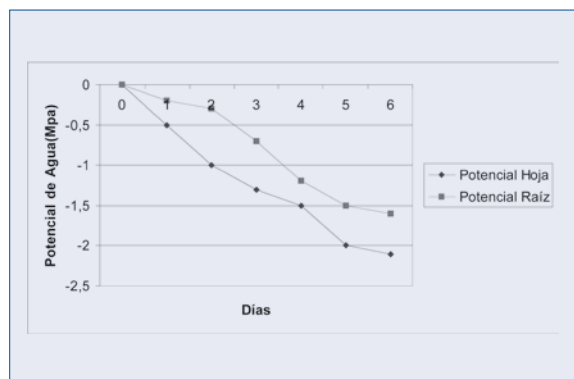
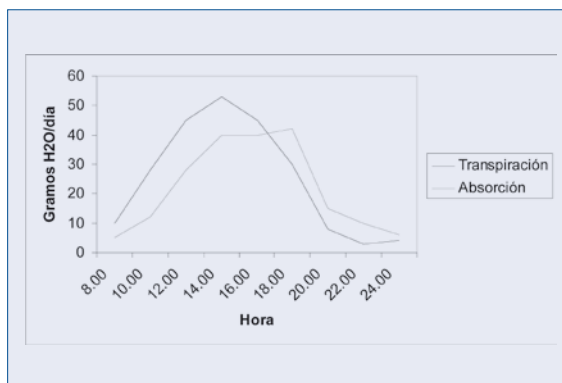


Figura 2
Relación Absorción/ Transpiración diaria (Matthews, 2004)



Los tejidos de la vid sufren los cambios diarios en el estado hídrico cuyo valor más alto ocurre al alba o inmediatamente antes y, el mínimo, ocurre a mediodía o simplemente después de mediodía. Esto ocurre debido a que la demanda de evaporación de agua se incrementa hacia el mediodía y luego decrece, y porque hay diferencias significativas en cuanto al transporte de agua en la continuidad suelo-planta-atmósfera. Por último da lugar a un retraso de absorción en el agua, la cual es transpirada y el potencial hídrico de la hoja decrece hasta que el gradiente del potencial hídrico es lo bastante grande como para superar las resistencias y proporcionar agua a las hojas a una proporción equivalente a la transpiración. Al final de la tarde y noche, el gradiente potencial del agua permanece alto aunque se disminuye la transpiración debido a la baja radiación incidente y la humedad creciente. Entonces, la captación de agua ocurre a una proporción mayor que la transpiración y el estado hídrico de la vid aumenta y se recupera. Cuando el agua de la tierra disminuye, la resistencia hídrica de la tierra aumenta drásticamente, limitando la capacidad de las plantas

Figura 3
Evolución del potencial hídrico foliar, expresado en bar, a lo largo del día 237 (25/8/2003) en la cara iluminada de la espaldera. (Linares, 2004)

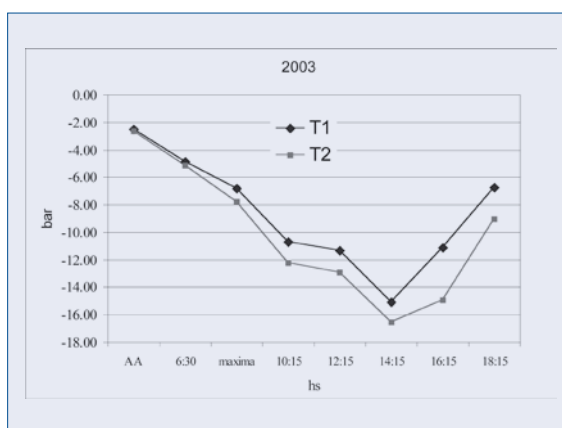
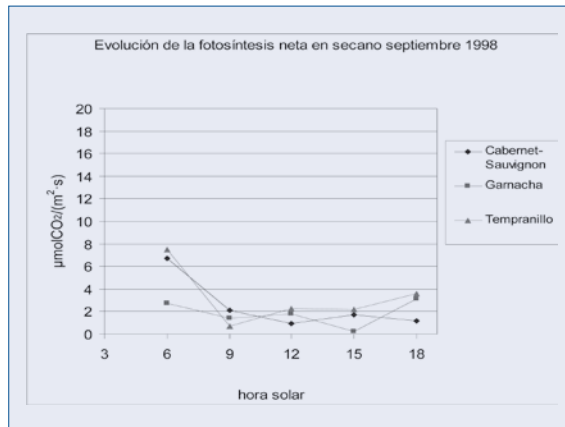
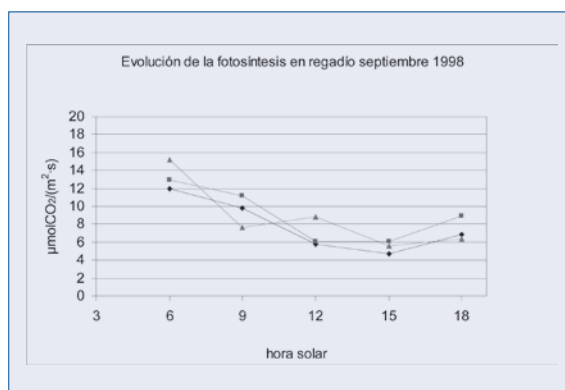


Figura 4a
Evolución fotosintética en diferentes cv. Con distintos regimenes hídricos (Baeza,1998)



de absorber el agua. Al mismo tiempo, la resistencia al transporte de agua en la planta puede aumentar tanto o más. Por consiguiente, la proporción de agua que puede entregarse a transpirar las hojas disminuye, dejando un incremento negativo del flujo de agua a través de las hojas. Este desequilibrio ocurre diariamente en las viñas, más aún en seco que bajo condiciones bien-regadas. Para cualquiera que se interese en comparar el estado de agua de vides irrigadas diferentemente, es importante notar cuánto el agua varía de potencial durante el día. Estas dinámicas significan que las medidas necesitan ser hechas cada día al mismo tiempo en los diferentes condiciones.

Figura 4b



II.10.2.2. Consumo de agua en el viñedo. Estacionalidad.

Del total de agua consumida por el viñedo a lo largo de un año, aproximadamente un 2 % es en el periodo invernal, 10 % en brotación - cuajado, 43 % en cuajado - envero y 45% en envero a caída de la hoja.

Por lo general, en viñedos situados en zonas de clima mediterráneo, las lluvias del otoño, invierno y gran parte de la primavera son capaces de satisfacer las necesidades de las plantas en estas épocas, por lo que no suele ser frecuente el déficit hídrico desde vendimia hasta final de primavera. Durante el ciclo anual, el consumo de agua depende del desarrollo de la superficie foliar y de la demanda evaporativa de la atmósfera.

El riego debe adaptarse a esta demanda creciente teniendo en cuenta la disponibilidad de la reserva hídrica del suelo y los objetivos cuantitativos y cualitativos de la cosecha.

II.10.2.3. Periodos de déficit o exceso de agua

A la hora de abordar la estacionalidad del consumo es frecuente dividir el ciclo anual de la planta en los siguientes periodos:

1. brotación - floración
2. floración - envero
3. envero - vendimia
4. vendimia - caída de hoja

Estos estados fenológicos se han fijado por ser fáciles de identificar y porque inicio y el fin de cada uno de los intervalos marca un cambio importante en la fisiología de la planta.

1. Efectos del déficit hídrico en el periodo brotación - floración

- Brotación irregular o falta de brotación de yemas
- Crecimiento lento de los pámpanos
- Falta de desarrollo adecuado para garantizar la maduración de los frutos
- Bajo cuajado
- Disminución de la fertilidad de yemas (observable al año siguiente)

Durante esta fase no es frecuente la falta de agua hasta las proximidades de la floración, de ahí que los efectos más frecuentes que suelen aparecer sean la falta de cuajado y una menor fertilidad de las yemas que se manifestará la siguiente campaña, pues la inducción floral de las yemas comienza hacia mediados del mes de junio coincidiendo con la floración y no se expresará hasta el ciclo siguiente.

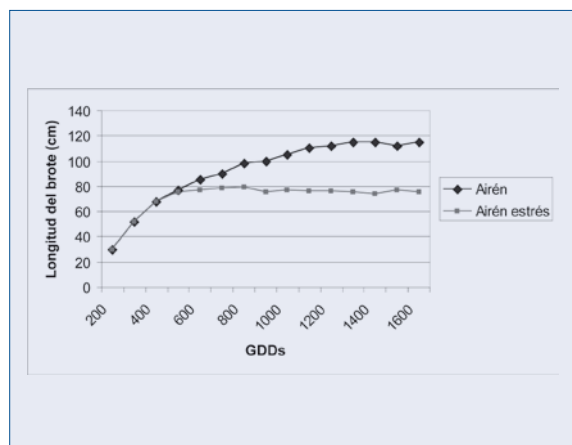
Durante esta fase las necesidades son bajas pues la superficie foliar se está desarrollando, representando un 80% del total hacia la floración. Por otro lado la demanda evaporativa de la atmósfera es baja y la reserva de agua del suelo va a garantizar una buena parte de las necesidades de esta etapa.

Durante esta etapa no puede faltar agua y si se observara disminución de la velocidad de crecimiento del pámpano, se recomendaría iniciar el riego. Carbonneau (1998) y Deloire et al. (2003) recomiendan que el potencial hídrico foliar antes de amanecer se encuentre entre 0 y -2 bar para que el desarrollo vegetativo no se vea afectado negativamente. Por otro lado, Williams (2001) recomienda esperar a dar el primer riego cuando el potencial hídrico foliar a mediodía alcance -10 bar en cultivares blancos y -12 bar en cultivares tintos de vinificación.

2. Efectos del déficit hídrico en el periodo floración envero

- Primero, disminución de la velocidad de crecimiento del pámpano y, posteriormente parada del desarrollo en longitud del mismo
- Disminución de la multiplicación celular de las células del ovario
- Disminución de la actividad fotosintética de las hojas (estrés severo)
- Reducción de la fertilidad de las yemas
- Menor renovación de raíces
- Parada y reducción del crecimiento
- Senescencia y caída de hojas

Figura 6



La disminución de las lluvias a medida que nos acercamos al verano y el consumo del agua de la reserva del suelo hace que los primeros síntomas de falta de agua en la planta aparezcan hacia finales del mes de junio. Lo primero que hace la vid ante la falta de agua es disminuir la multiplicación celular afectando tanto al meristemo terminal como a la multiplicación de las células de la baya (fase I). Se ha observado una distinta respuesta varietal frente a la disponibilidad hídrica, resultando que unas variedades se autorregulan más que otras.

La parada de crecimiento es deseable pues garantiza que a partir de ese momento los productos de la fotosíntesis se dirigen hacia los racimos que son los otros puntos de demanda. La falta de parada de crecimiento presenta serios inconvenientes, como son una competencia entre desarrollo del pámpano principal y nietos con el desarrollo de la inflorescencia. Indirectamente, un exceso de desarrollo vegetativo implica un peor microclima en la zona de racimos, afectando a los aspectos cualitativos de la baya. Es necesario que se produzca en esta fase la parada de crecimiento a partir del cuajado- tamaño guisante (φ baya 7 mm).

Por otro lado, al afectar el déficit hídrico a la multiplicación de las células del ovario, éste induce un menor tamaño potencial de la baya pues en esta fase se determina el número de células que van a componer el fruto y por tanto su tamaño futuro. Dentro de esta fase, el periodo que comprende las 3 semanas posteriores a la floración es el de máxima sensibilidad de la baya a la multiplicación celular. Un déficit hídrico moderado en esta fase observado en un control del tamaño de la baya, repercute en aspectos cualitativos positivos en el mosto, especialmente en variedades tintas (mayor concentración de color). Un déficit severo implica bayas demasiado pequeñas donde la relación pulpa/pepita y raspón es alta dando al vino sabores astringentes y herbáceos.

Al final de esta etapa la baya alcanza el 50% de su tamaño final. Podemos fijar el tamaño de baya que estimemos óptimo y controlarlo con el riego.

3. Efectos del déficit hídrico en el periodo de envero – maduración

- Disminución de la actividad fotosintética
- Menor tamaño de la baya
- Pérdida de superficie foliar
- Retraso de la maduración

Durante esta etapa debemos garantizar agua suficiente para que las hojas permanezcan activas y prolongar su fase de hojas adultas. Cualquier exceso de agua en esta fase produce un reinicio del desarrollo vegetativo a partir de los nietos lo que tiene consecuencias negativas en la maduración del fruto por competencias por los productos de la fotosíntesis. Los niveles de exigencia hídrica para la realización de la fotosíntesis son más bajos que para el crecimiento de los pámpanos y, en definitiva, necesitamos aportar agua pero manteniendo a la planta con niveles de déficit hídrico moderado. Cuantitativamente los aportes de agua serán los mayores de todo el ciclo anual debido a la alta demanda evaporativa de la atmósfera y a la gran superficie foliar que ya tiene completamente desarrollada el cultivo.

Un déficit hídrico severo en esta etapa produce una menor actividad fotosintética de las hojas, retrasando la maduración de los frutos si las condiciones de estrés hídrico se prolongan en el tiempo. Si la falta de agua es muy importante, la viña comienza a perder irreversiblemente superficie foliar. Primero se secan las hojas adultas por el borde, avanzando a continuación por todo el limbo y terminando por caer.

4. Efectos del déficit hídrico en el periodo vendimia – caída de hoja

La falta de agua en esta fase afecta al agostamiento de la madera y a la acumulación de reservas repercutiendo en la brotación y en las primeras fases de desarrollo de los pámpanos en el ciclo siguiente.

No es frecuente la falta de agua en este periodo, pues las primeras lluvias del otoño son suficientes para garantizar la alimentación hídrica. Algunos años excepcionales en los que el periodo de lluvias se retrasa sería recomendable prolongar el periodo de riego.

II.10.3. Efectos del déficit de agua

Podemos de forma resumida enumerar las consecuencias de la disponibilidad de agua.

Síntomas del déficit hídrico

- Decrece el ángulo de la hoja.
- Inhibición del crecimiento de los entrenudos.
- Reducción del crecimiento del zarcillo en relación a la extremidad.
- Parada de crecimiento y pérdida del ápice.
- Reducción del número y tamaño de nietos.
- Abscisión de hojas viejas.

Consecuencias del déficit hídrico:

En el crecimiento vegetativo:

- Inhibición del crecimiento en general.
- Descenso de la fotosíntesis de la hoja y supresión de la maduración.
- Falta de funcionalidad de las hojas.
- Insuficiente cantidad de hojas (Una media razonable es 12-15 hojas por racimo).
- Senescencia foliar.
- Defoliación precoz.

En la composición y maduración de la uva:

- Retraso de la maduración o maduración incompleta.
- Maduración aparente: Aumento del °Brix por deshidratación, pero no hay importación.
- Si es estrés severo, acumulación baja y retrasada.
- A menudo, frutos pequeños, con buen extracto y concentración, pero menos complejidad.
- Exposición excesiva de racimos.
- Aumento de pH.
- Disminución de acidez. Mállico.
- Aumento de la relación Tartárico/Mállico.
- Pérdida de aromas.
- Aumento de la pigmentación de la uva, favorecida por la iluminación de racimos y fruto pequeño. La excesiva exposición invierte la acumulación de pigmentos.
- Desfase de la maduración de la pupa, piel y semillas

Exceso de agua

- Induce excesivo crecimiento vegetativo y vigor.
- Vegetación densa.
- Alargamiento del ciclo.



- Baya grande.
- Pobre exposición de racimos, sombreado excesivo.
- Racimo compacto.
- Problemas de enfermedades.
- Agostamiento imperfecto.
- Se produce la parada de crecimiento y la pérdida del ápice.
- Se reduce el número y tamaño de nietos.
- Se produce la abscisión de hojas viejas.

Los efectos de una disponibilidad hídrica insuficiente que han sido revisados anteriormente pueden resumirse en los siguientes puntos:

Respecto al crecimiento vegetativo las consecuencias más importantes son:

Efectos en la composición de la uva del exceso de agua

- Contenido pobre de azúcares y retraso de la maduración.
- Acidez alta, especialmente málico.
- Color pobre.
- Aromas herbáceos.
- Estructura ligera.

- Inhibición del crecimiento en general.
- Descenso de la fotosíntesis de la hoja y supresión de la maduración.
- Falta de funcionalidad de las hojas.
- Insuficiente cantidad de hojas para una maduración adecuada (Una media razonable es 12-15 hojas por racimo).
- Senescencia foliar.
- Defoliación precoz.

II.10.4. Conclusiones y Recomendaciones

El consumo de agua de la vid depende principalmente de la disponibilidad hídrica de la planta, la cantidad de superficie foliar y las condiciones climáticas. La disponibilidad hídrica está definida principalmente por el contenido hídrico del suelo y el desarrollo radicular de la planta. La superficie foliar de la planta aumenta durante la primavera y permanece más o menos estable después de la parada de crecimiento. El estado de las hojas influye también en la cantidad de agua transpirada y por tanto en el consumo. Las condiciones atmosféricas influyen decisivamente sobre la transpiración, siendo la radiación, temperatura, humedad relativa, déficit de presión de vapor y el viento los factores más decisivos. El déficit hídrico se produce siempre que la pérdida de agua por transpiración no es compensada por la absorción radicular.

El riego no debe comenzarse hasta que la planta lo necesite y manifieste los primeros síntomas de déficit hídrico. Tan sólo se recomienda iniciar los riegos antes cuando se quiera estimular el crecimiento vegetativo. Los principales síntomas del déficit hídrico se manifiestan en que:

- Decrece el ángulo del limbo respecto a la horizontal o a su peciolo.
- Se inhibe del crecimiento de los entrenudos.
- Se reduce el crecimiento del zarcillo en relación a la extremidad.

En cuanto a la maduración:

- Retraso de la maduración o maduración incompleta.
- Maduración aparente: Aumento del °Brix por deshidratación, pero no hay importación de azúcares.
- Si es estrés severo, acumulación baja y retrasada.
- A menudo, da lugar a frutos pequeños, con buen extracto y concentración, pero menos complejidad.
- Exposición excesiva de racimos.
- Aumento de pH.
- Disminución de acidez: Ácido Málico.
- Aumento de la relación Tartárico/Málico.
- Pérdida de aromas.
- Aumento de la pigmentación de la uva, favorecida por la iluminación de racimos y fruto pequeño.

El metabolismo de la planta deberá asegurar que las bayas lleguen a envero con el 50% de su peso final y garantizar el 50% restante durante la maduración.

Para ello la disponibilidad hídrica de la planta, durante la maduración, debe ser suficiente para asegurar un metabolismo adecuado, sin que se produzca un crecimiento vegetativo excesivo que compita con la acumulación de fotoasimilados en la baya. Un exceso de agua tendría como consecuencias:

- Excesivo crecimiento vegetativo y vigor.
- Vegetación densa.
- Prolongación del ciclo de desarrollo.
- Tamaño de baya excesivo.
- Limitada exposición de racimos y sombreadamiento.
- Compacidad del racimo.
- Problemas sanitarios.
- Agostamiento incompleto.

La producción y el reparto de fotoasimilados varían en función de la disponibilidad hídrica de la planta. Con alta disponibilidad la producción es elevada, pero se destina principalmente a crecimiento vegetativo, mientras que en un estrés excesivo la producción se reduce a niveles muy bajos. Un estrés moderado mantiene unos niveles de fotosíntesis adecuados y limita el crecimiento vegetativo permitiendo una síntesis adecuada de azúcares.

Con veranos extremadamente secos y calurosos, el déficit hídrico severo se produce prácticamente todos los años. Aunque algunos autores, como McCarthy (1998), aconsejan que las cepas de alta producción y alto vigor se estresen de enero a vendimia lo suficiente para minimizar el crecimiento vegetativo, en nuestras condiciones el estrés es tan intenso que el déficit produce un descenso importante en la actividad fotosintética. Esto conlleva una disminución en la síntesis de azúcares, en el crecimiento vegetativo de la planta y un aumento de la temperatura de las hojas debido a la limitación en la transpiración. El exceso de radiación sobre los racimos, debido a bajos índices de área foliar, produce una degradación importante de los ácidos, unido a una menor intensidad aromática de la baya.

Por tanto, la aplicación de riegos moderados, produce un aumento de la actividad metabólica, mayor fotosíntesis y menor degradación de los ácidos debido a un microclima más adecuado. Esta aplicación no lleva asociados descensos significativos de la carga polifenólica de la uva, por lo que no se suele encontrar diferencias en el color ni en la estructura de los vinos.

II.10.5. Consideraciones para una adecuada gestión del riego

La expresión de un viñedo puede descomponerse en crecimiento vegetativo, producción de uva y calidad del fruto. Con el riego debe buscarse maximizar la calidad y aumentar el rendimiento de cosecha, siempre que este aumento no vaya en detrimento de la calidad.

Según el momento del ciclo en el que nos encontremos las recomendaciones son las siguientes:

A lo largo del ciclo:

- Adecuar el contenido de agua al principio del ciclo da lugar a buen crecimiento vegetativo, pero no al exceso de vigor.
- Desarrollar un estrés medio gradualmente desde floración que permita buen cuajado y ralentice el crecimiento de la baya, del pámpano y de los nietos.

Después de cuajado es deseable haber completado el desarrollo del área foliar:

- Incrementar el estrés provocando una parada en el crecimiento de pámpanos y bayas.
- Mantener las hojas totalmente funcionales (fotosíntesis).

En maduración, es conveniente mantener un estrés moderado con las siguientes finalidades:

- Limitar o detener el crecimiento.
- Incrementar la acumulación de azúcar y su precocidad.
- Favorecer la concentración de metabolitos: polifenoles, antocianos, flavonoles
- Favorecer el aroma, complejidad y estructura.
- Mantener las hojas totalmente funcionales (fotosíntesis).

Resumiendo, la aportación adicional de agua mediante el riego debe realizarse solamente desde que la planta manifieste síntomas de déficit hídrico ya que aplicaciones anteriores favorecen un crecimiento vegetativo excesivo que implicará mayores necesidades hídricas (mayor superficie foliar que transpirará que deberemos satisfacer posteriormente y que puede interferir con el desarrollo y la maduración de los racimos). El comienzo del riego debería realizarse cuando el crecimiento vegetativo se haya ralentizado o detenido. Las dosis de riego utilizadas a partir

de este momento deberán limitar el desarrollo de las partes vegetativas y a su vez mantener una actividad fisiológica que permita una correcta evolución de la maduración. Además, el hecho de mantener un ligero déficit en la fase de multiplicación celular en la baya dará lugar a bayas de menor tamaño, mejorando así la relación hollejo / pulpa, interesante para vinificaciones de calidad.

II.10.6. Época de riego

Riego de Invierno

El riego de invierno antes de desborre con la finalidad de rellenar el perfil del suelo en zonas que lo permitan, podría considerarse en años con precipitación escasa otoño-invierno; es poco eficiente, porque gasta mucha agua y se pierde también mucha.

En muchas ocasiones es poco eficaz porque estimula mucho el crecimiento y luego si falta el agua puede ser caótica.

Sólo los viñedos en zonas llanas y regables por pies, en general lo permiten.

No es, en general grave para el viñedo salvo que se considere que el agua es escasa y que en muchos casos hay crecimiento excesivo primaveral, no deseable.

Desborre/Floración.

La planta debe de crecer bien, no debe tener déficit acusado; pero a veces crece demasiado deprisa con entrenudos demasiado largos(no se si el crecimiento muy rápido además apiña el racimo).

Generalmente no hace falta regar, la precipitación y la reserva de agua del suelo satisfacen normalmente las necesidades, las cepas no han desarrollado mucha área foliar y la demanda de la atmósfera es en general moderada.

Cuajado/Envero.

Después de cuajado deberían crecer las vides para seguir formando hojas, pero tampoco interesa que se produzca con excesiva velocidad y que de lugar a entrenudos excesivamente largos y estimule los nietos (difícil de evitar).

Debe formar hojas y mantener un estado sano del área foliar, atenuar la senescencia es fundamental, son frecuentes excesos térmicos.

Las uvas si se quieren para vinos buenos pero no complejos y concentrados pueden crecer con normalidad.

A partir del cuajado (de 4 a 6 semanas) forma las células y es definitivo para el tamaño final de la uva.

El crecimiento excesivo durante este periodo es definitivo, para el tamaño final, si crece en exceso y luego durante la maduración no llega suficiente azúcar, la uva queda inmadura.

Si queda pequeña ahora y la planta funciona bien en maduración favorece de concentración.

Si crece normal luego debe hacerlo normal.

La uva debe de alcanzar el 50% al 60% del tamaño final llegando a doblar poco menos, después en maduración su peso y volumen, (no el radio y el diámetro, recordar que el $V = 4/3 \pi R^3$, aumento de radio se traduce en $4R^3$)

Es decir, pequeños aumentos de radios son cambios enormes en el volumen, especialmente al levantar el tiempo.

Lo normal es empezar a regar en este periodo cuando la planta manifieste la necesidad.

- Empieza a crecer poco.
- Indicios de parada de crecimiento.
- Potenciales primordios foliares.
- Contenidos o potenciales hídricos del suelo.
- Contracciones o crecimiento del tronco.

El riego debería comenzar en este periodo cuando la cepa manifieste insuficiente agua en el suelo, ello podría determinarse bien por:

- Estado hídrico suelo
- Estado hídrico planta
- Cuando se vean síntomas en la cepa, por ejemplo: comienzo o primeros síntomas de parada.

Antes de envero la planta debería parar o ralentizar al máximo su crecimiento.

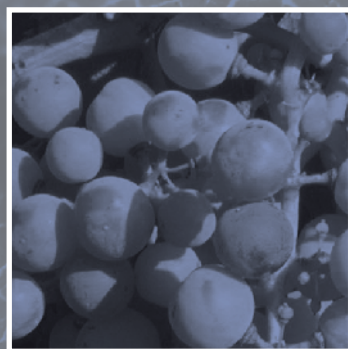
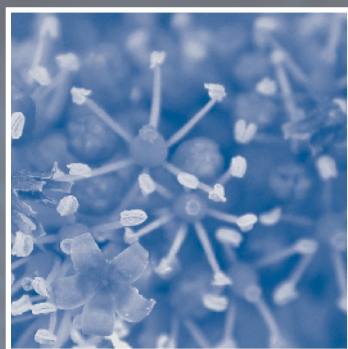
Las hojas no deben de empezar a caer ni envejecer prematuramente. Asegurar fertilidad de yemas según se desee.

- Maduración
- La baya debe tener un buen crecimiento para poder madurar, un aumento de tamaño implica un aumento de concentración de azúcar.

- Hojas sanas y no envejecidas excesivamente.
 - Hojas activas.
 - Crecimiento nulo o casi parado.
 - Regar poco, la planta debe de tener estrés moderado pero regar frecuentemente sin estimular crecimiento vegetativo.
- Postvendimia
- Si no llueve es importante regar para aprovechar la capacidad de las cepas para regenerar raíces y asegurar reservas.
- Los riegos grandes antes del envero pueden ser tan nefastos o más que después.



II.11. La gestión hídrica del viñedo



- 165** II.11.1. Premisa
- 165** II.11.2. Algunos conceptos básicos y definiciones
- 166** II.11.3. El balance hídrico del viñedo: equilibrio entre abastecimiento y demanda hídrica
- 170** II.11.4. La respuesta de la vid al estrés hídrico
- 172** II.11.5. La gestión de las aportaciones de riego: ¿cuándo hay que empezar a regar el viñedo?
- 177** II.11.6. La gestión de la aportación de riego: ¿cuánta agua hay que reponer?
- 179** II.11.7. La gestión de la aportación de riego: ¿cómo reponer el agua?
- 181** II.11.8. Referencias bibliográficas



Stefano PONI
*Istituto di Frutti-Viticultura,
Università Cattolica del Sacro Cuore
Piacenza, Italia.*

Original publicado en Manuale di Viticoltura, impianto, gestione e difesa del vigneto. Stefano Poni, 2005 (Cap 7)

II.11.1. Premisa

Los estudios climatológicos prevén un aumento constante, y difícilmente combatible, de la temperatura de la corteza terrestre. Este fenómeno, aplicado al ambiente vitícola, conllevará un aumento de las denominadas “sumatorias térmicas” lo que, previsiblemente, tendrá 2 efectos principales sobre el cultivo de la vid:

- a. Una “redistribución” geográfica de las variedades en función de las cambiantes características macro-climáticas. Áreas vitícolas “frías”, hoy en día consideradas ideales sólo para cultivar variedades precoces, se transformarán de forma gradual en zonas compatibles también con el cultivo de genotipos medio-tardíos y, viceversa, las áreas que hoy se consideran “templado-frescas”, y por tanto aptas para producir incluso vinos excelentes, se transformarán en zonas de clima “semi-árido” con obvias repercusiones sobre la dinámica de la maduración y, sobre todo, sobre el cuadro aromático global de los vinos.
- b. Una fuerte alteración del balance hídrico del viñedo, que será cada vez más deficitario, y que se sentirá, por un lado, de la menor reserva hídrica de los suelos y, por otro, de unas condiciones atmosféricas que favorecerán la evapotranspiración.

En vista de estos más que probables cambios climáticos, la gestión del “agua” jugará un papel cada vez más importante, si no decisivo en la conducción del viñedo (Fig. 1).

En este capítulo, después de haber avanzado algunos conceptos básicos e indispensables, trataremos de analizar los factores que participan en el equilibrio entre “abastecimiento” y “demanda” hídrica, la mayor o menor sensibilidad de la vid al estrés hídrico en función de los estadios fenológicos concretos y, por último, las bases fisiológicas y las posibles modalidades de aplicación de técnicas de riego basadas en la devolución de una cuota del consumo evapotranspirativo total (déficit hídrico controlado).

II.11.2. Algunos conceptos básicos y definiciones

Antes de avanzar hacia un tratamiento más específico de los aspectos relacionados con la gestión hídrica del viñedo conviene aclarar la diferencia básica entre “riego ordinario” y “de socorro”. Las operaciones de riego son “ordinarias” cuando la pluviometría registrada durante los meses que abarcan el ciclo anual de la vid (normalmente abril-septiembre) es inferior a 50-100 mm, con lo que en la práctica las aportaciones de riego resultan “obligatorias”, a menudo, desde la floración-cuajado. Esta situación es típica de muchas zonas vitícolas australianas, españolas, israelíes, argentinas y de extensas zonas de vid de algunas regiones de la Italia meridional.

Las operaciones de regadío son “de socorro” cuando la pluviometría registrada en el susodicho período resulta profundamente variable (por lo normal entre 150 y 400 mm) lo que hace muy difícil prever el momento, la duración y el nivel de estrés. De forma paradójica, el control del riego resulta decididamente más complejo en los casos “de socorro” ya que implica siempre una valoración del “riesgo” que los episodios estivales de déficit hídrico puedan tener sobre la producción o la calidad de la uva.

En la tabla 1 se refleja una definición sintética de algunos de los parámetros relativos al sistema agua-suelo que serán de utilidad para entender los conceptos más específicos que se abordarán en los siguientes párrafos.



Fig. 1. – Graves síntomas de estrés hídrico en vides de croatina (*Vitis vinifera* L.). La gestión hídrica del viñedo, habida cuenta de la tendencia global al cambio climático, será un problema cada vez de mayor actualidad y más apremiante en viticultura (foto S. Poni).

II.11.3. El balance hídrico del viñedo: equilibrio entre abastecimiento y demanda hídrica

II.11.3.1 "Abastecimiento" hídrico

Los principales factores relacionados con el "abastecimiento" hídrico del viñedo son:

- a. Capacidad de retención hídrica del terreno.
- b. Nivel de precipitaciones y tasas de infiltración y de escorrentía.
- c. Profundidad de la radicación de las vides.
- d. Presencia/ausencia de especies competitivas.

Por lo que respecta a la capacidad de retención hídrica de un terreno, se sabe que los suelos denominados "pesados" (limo-arcillosos) retienen más agua por

unidad de volumen que los terrenos "suelos" (ricos en arena o en esqueleto sólido). Entre los 2 casos puede haber una diferencia, a igualdad de volumen, incluso del 50% (Tab. 2). Aun así, la capacidad efectiva de obtención de agua en un terreno suelto puede verse incrementada por la presencia de raíces profundas mientras que, por el contrario, la cantidad de agua disponible para ser absorbida en un terreno profundo puede verse limitada por la presencia de estratos impermeables (ej. calcareos o derivados de la suela de labor) que obstaculizan el crecimiento de las raíces reduciendo el volumen de suelo que pueden explorar.

En definitiva, el valor de la capacidad de retención hídrica (o capacidad hídrica de campo, CC) define la cabida máxima de un "depósito" (con más cabida en los terrenos de grano fino, y con menos en los suelos de textura más gruesa) que está pensado para ir vaciándose (parcial o totalmente) con el avance de la estación cálida hasta llegar, en añadas particularmen-

Tabla 1

Definición y unidad de medida de algunos parámetros físico-químicos del suelo ampliamente utilizados

Parámetro	Definición	Unidad de medida
Densidad aparente (D _{ap})	Peso seco de un terreno por unidad de volumen.	g/cm ³
Capacidad hídrica de campo (CC)	Contenido hídrico de una matriz de suelo que se deja escurrir por lo menos durante 48 horas a partir del nivel de saturación. Determinada para una tensión hidráulica de -33kPa (-0,33bar) y dependiente de la textura del terreno	% en volumen
Esqueleto	Fracción sólida constituida por partículas más grandes que la arena (>2000 μm; 2 mm) que no retiene el agua por tensión matricial y no participa en la conducción hídrica del suelo	% en peso
Conductividad hidráulica	Capacidad del agua para moverse por el terreno en función de las fuerzas matriciales y gravitacionales. Depende de la textura y el contenido hídrico del terreno.	cm/s
Agua disponible (AD)	La cantidad de agua que una planta es capaz de extraer del terreno que se encuentra en la CC, calculada como (CC-PM) para una determinada profundidad de suelo.	mm/m
Salinidad	Cantidad de sales disueltas en la fracción líquida de suelo que suma una presión osmótica a la matricial. Determinada como conductividad eléctrica de una muestra de suelo con saturación hídrica.	mmhos/cm
Saturación (SAT)	Contenido hídrico de un terreno que se corresponde con el estadio en el que todos los poros están llenos de agua. Depende de la textura y del contenido hídrico total	% volumen
Tensión	Potencial matricial de la fracción líquida del suelo retenida en los espacios de la fracción sólida por fuerzas capilares. Depende de la textura y del contenido de agua total	kPa
Textura	Repartición de la fracción sólida del terreno en las categorías dimensionales de la arcilla (<2 μm), limo (2-50 μm) y arena (50-2000 μm) según el US Dept. of Agriculture	% en peso
Punto de marchitez (PM)	Contenido hídrico del suelo por debajo del cual las raíces son por lo general incapaces de extraer agua. Determinada para una tensión hidráulica de 1500 kPa (-15 bar) y dependiente de la textura.	% volumen

te escasas en precipitaciones, a generar situaciones de déficit hídrico. El cálculo de la CC, aunque sea sólo de forma aproximada, puede deducirse fácilmente por programas user-friendly disponibles incluso en la página web (<http://www.bsyse.wsu.edu/saxton/soilwater/>) simplemente a partir de los datos de textura y, si se deseara una mayor precisión, a partir de la materia orgánica y la salinidad (Fig. 2).

La dinámica que el “depósito”, determinado por la capacidad de retención hídrica, sigue para vaciarse o volverse a llenar a lo largo de la estación depende, además de la absorción de las raíces, del nivel de precipitaciones y de las tasas de infiltración y escorrentía. Aunque, obviamente, la pluviometría estacional no se puede condicionar, conviene apuntar que para que una lluvia sea considerada “eficiente” su volumen debe ser suficiente (por lo normal >10 mm) para alcanzar al menos parcialmente la zona del suelo donde se encuentran las raíces absorbentes. Las tasas de infiltración y escorrentía dependen de una variedad de factores (textura, contenido de materia orgánica, pendiente del terreno, tipo de gestión del suelo) y ambas se resienten de forma acusada (aumenta la primera, disminuye la segunda) con el paso del laboreo total a soluciones de cubierta vegetal. Independientemente de la profundidad hasta la que puedan descender las raíces, el volumen de agua potencial que las vides pueden utilizar es el producto de la capacidad de retención hídrica por el volumen de suelo que las raíces exploran efectivamente. Este último indicador es función primaria de la profundidad radicular que depende de factores ligados al terreno (textura, porosidad, presencia de estratos impermeables, rocosos, calcareos, etc.) y culturales (portainjertos, técnicas de fertilización y riego, gestión del suelo, etc.). Aunque las raíces de vid adulta, si no se dan estratos impermeables u otros factores de restricción radicular, pueden alcanzar profundidades considerables (varios metros), el sistema radical de las vides jóvenes está mucho más limitado tanto en términos de volumen de suelo explorado como de densidad (peso o longitud de las raíces por unidad de volumen de suelo). Esta diferencia explica por qué los injertos jóvenes tienen una

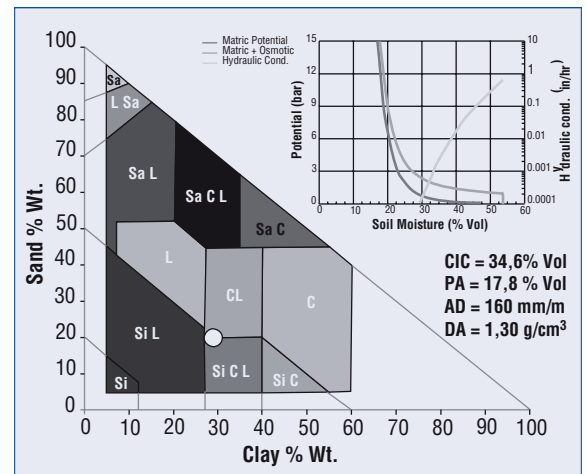


Fig. 2.- Ejemplo de cálculo de las constantes hidrológicas de un terreno (capacidad hídrica de campo, punto de marchitez, agua disponible) y de la densidad aparente a partir de los datos de textura. En la gráfica superior se recogen el comportamiento de la conductividad hidráulica y del potencial matricial y osmótico del suelo. El punto negro indica el caso de un suelo con el 20% de arena, el 30% de arcilla y el 50% de limo. Recalculado a partir de Saxton *et al.*, 1996.

mayor sensibilidad al estrés hídrico frente a las cepas de más edad, con raíces más profundas y capaces de alcanzar estratos más húmedos o la capa freática, algo indispensable para evitar una situación declarada de déficit hídrico.

Y finalmente, el “abastecimiento” hídrico está también determinado por las interacciones que se establecen entre la vid y las posibles especies herbáceas “asociadas”, en el caso de que se haya optado por utilizar una cubierta vegetal (espontánea o sembrada). En líneas generales, se podría concluir que el sistema radicular de la vid, por su baja densidad, no compite demasiado bien con el de las especies herbáceas, que a menudo es mucho más agresivo. La demostración más eficaz de esta interacción es que en el caso, por ejemplo, de utilizar cubiertas vegetales en las calles del viñedo, el sistema radicular de las vides tiende a concentrarse en la franja de debajo de la hilera, llegando tal vez a profundizar, pero evitando siempre el contacto con las raíces de la especie herbácea asociada. De forma más detallada, podría afirmarse que:

- El efecto competitivo más claro de las especies herbáceas asociadas es relativo al agua.
- En fase de crecimiento activo, no parecen observarse grandes diferencias en los consumos hídricos de las distintas especies herbáceas que, por poner un ejemplo, pueden variar de 2 a 7 mm/grado-día durante el período de la primavera-verano.
- El segado reduce poco y durante poco tiempo el consumo hídrico del prado si se compara con las tesis no segadas.

Textura	Agua disponible (mm por metro de suelo)	
	Intervalo	Media
Arena gruesa	33-42	36
Arenoso-limoso	62-83	67
Franco, ligero	83-125	104
Limoso	125-192	158
Arcillo-limoso	146-208	175
Arcilloso	133-208	167

- La competencia se reduce drásticamente cuando los cultivos herbáceos entran en una fase de latencia o se desecan. En ese sentido, para lograr atenuar la competencia rápidamente, lo más indicado es un herbicida.

En climas templado-húmedos, la “regulación” de la competición vid-prado puede ser determinante a la hora de plantear la necesidad -y volumen- de un riego complementario. De hecho, en este tipo de contexto climático, caracterizado por fuertes irregularidades hídricas estivales, podría bastar con seleccionar especies con parada (parcial o total) del crecimiento estival o proceder a una eliminación de verano de las hierbas para evitar situaciones de déficit hídrico.

II.11.3.2. La “demanda” hídrica

Los principales factores relacionados con “demanda” hídrica de un viñedo son:

- a. Clima (evapotranspiración)
- b. Área foliar (cantidad y distribución en el espacio)
- c. Carga de uva

El clima es ciertamente el controlador que más influencia tiene sobre la “demanda” hídrica de un viñedo. En concreto, son los factores climáticos de radiación total y de déficit de presión de vapor (DPV) los que, dentro de ciertos límites, determinan la tasa de agua que una canopia pierde con la transpiración. Por tanto, la cantidad de agua que la atmósfera requiere, en una añada cálida con abundancia de días claros y ventilados, podría llegar incluso a doblar a la que se calcula para una temporada con prevalencia de días nublados y/o particularmente húmedos. Por otra parte, no hay que concluir que la vid reacciona de forma pasiva a las crecientes exigencias evapotranspirativas, es más, esta especie es muy capaz de autorregular sus propias pérdidas hídricas mediante los estomas (Fig. 3).

La estrecha relación que existe entre clima y transpiración de la vid evidencia el concepto de estrés hídrico de tipo “atmosférico”, un concepto demasiadas veces ninguneado. Es decir, se podrían dar episodios de estrés hídrico a lo largo de períodos extremadamente calurosos, con intervalos de elevada pluviometría, pero no porque el suelo no disponga de suficientes reservas hídricas, sino simplemente porque la demanda transpirativa es mucho más alta de lo normal y la absorción radical no es suficiente para satisfacerla. Al mismo tiempo, un déficit hídrico objetivo del suelo no implica necesariamente una situación efectiva de estrés. Un período de sequía en un clima “fresco” puede que no tenga asombrosos efectos sobre la funcionalidad foliar porque la demanda transpirativa será baja.

La pérdida hídrica de un viñedo obviamente no depende sólo del volumen de la demanda transpirativa del ambiente sino también de todos aquellos factores que determinan el consumo “efectivo” de agua. Entre ellos, la cantidad y la distribución del área foliar tienen una importancia primordial.

Por lo general, en términos de cantidad, se podría afirmar que el consumo de agua de una canopia de vid, calculado en una jornada que favorezca la transpiración, puede oscilar entre 0,6 y 1,2 Litros/m²/grado-día. Por tanto, partiendo de un valor medio de 0,9 litros/m²grado-día, una canopia con 8m² de superficie foliar perdería casi 7,2 litros/grado-día. Para una hipotética densidad de plantación de 3500 cepas/ha, el consumo de agua por unidad de superficie equivaldría a casi 25.000 litros/ha lo que se corresponde con una pluviometría de 2,5 mm. Este dato resulta muy indicativo porque se refiere a un consumo “específico” pero, aun así, resulta incompleto. De hecho, son muchas las canopias que aun teniendo un área foliar parecida, registran consumos hídricos muy diferentes. En la tabla 3 se recoge un ejemplo que explica de forma excelente cómo el consumo hídrico de una vid depende también de la distribución del área foliar sobre la unidad de superficie. Si se comparan los consumos de agua semanales en 4 sistemas de conducción (Fig. 4) salen a la luz algunos elementos de gran utilidad para el viticultor;

- El vaso, en un marco clásico de 1 m x 1 m (10.000 vides/ha) es la forma de poda que aunque presenta el consumo por vid más bajo en términos absolutos, registra en cambio la mayor pérdida transpirativa por unidad de superficie (455 m³/ha) debido al elevado porcentaje de cobertura del suelo al final del desarrollo.
- A igual marco de plantación, el sistema de conducción con canopia dividida (sistema de “Lira”) presenta un consumo hídrico claramente más ele-

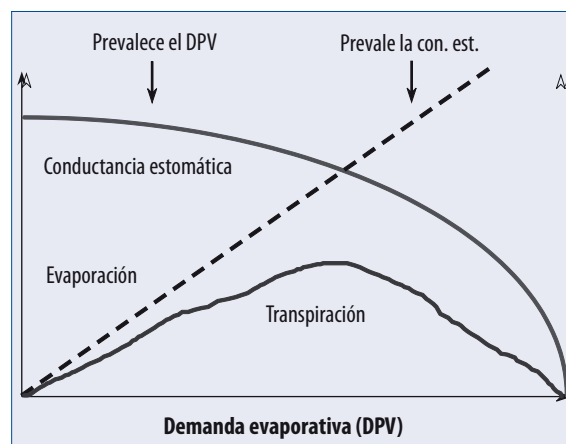


Fig. 3. También en el caso de la vid existe un mecanismo de control estomático que, ante un aumento progresivo de la demanda evaporativa del ambiente (DPV), primero determina una estabilización y después un descenso progresivo de la transpiración.

Tabla 3

Consumos hídricos en cabernet s. según distintos sistemas de conducción y marcos de plantación (Williams, 2001)

Sistemas	Marco (entre filas/entre cepas)	Densidad (vides/ha)	K_c	ET_c (mm)	ET_c (m3/ha)	ET_c (L/vid)
CSP	1,8 x 1,8	2984	0,81	40,5	405	136
CSP	2,7 x 1,8	1996	0,54	27,0	270	136
Lira	2,7 x 1,8	1996	0,83	41,5	415	208
GDC	3,7 x 1,8	1493	0,75	37,5	375	251
HD	1 x 1	10000	0,91	45,5	455	45,5

Datos referentes a California, período de post-verano. Balance de una semana.

vado que los de pared única (cordón espolonado) ya que se produce un mayor "esparcimiento" de la superficie foliar sobre el plano horizontal.

- En el caso de viñedos en espaldera clásica (cordón espolonado) que se diferencian sólo por la distancia entre las filas, el consumo hídrico por vid es bastante parecido, mientras que por hectárea el consumo es superior en el tipo de viñedos con filas más juntas, de nuevo porque así se logra una mayor cobertura vegetal del terreno.

Resulta por tanto obvio que la distancia entre las filas y la geometría de la canopia (simple o dividida) son factores "sensibles" en el contexto del consumo hídrico de una plantación ya que determinan el grado de cobertura vegetal sobre la unidad de superficie, tienen un impacto directo sobre la cantidad de luz interceptada y, por tanto, sobre la pérdida transpirativa.

De la misma manera, otros factores culturales, como la orientación de las hileras o las modalidades de poda pueden repercutir de forma determinante sobre el equilibrio hídrico del viñedo. El ejemplo de la fig. 5 plantea un caso en el que se compara la pérdida transpirativa diaria de canopias conducidas en cordón espolonado o espaldera clásica con orientación Norte-Sur o Este-Oeste (43,4°N) que demuestra de forma muy gráfica como, en el caso de la orientación NS, a igualdad de área foliar, la tasa de transpiración desciende respecto a la orientación EO en las horas centrales del día. El fenómeno podría explicarse porque la tasa de radiación total es más alta que en un sistema de orientación NS donde la luz se pierde directamente contra el suelo cuando el Sol está en su punto más alto, y, por tanto, no participa en la transpiración de la canopia. Además, por lo general, técnicas de poda como la mecanizada o la "mínima" disparan el nivel máximo de superficie foliar de cada vid y aceleran la



Fig. 4 Estructura de los 4 sistemas de conducción cuyos consumos hídricos refleja la tabla 3. Arriba a la izquierda, conducción en vaso, arriba a la derecha un sistema de doble cortina (GDC); abajo a la izquierda, un sistema "Lira" de canopia dividida y, abajo a la derecha, una espaldera clásica con brotes elevados.

formación de la misma por lo que conllevan pérdidas hídricas superiores a las que se derivan de un sistema de poda manual y tradicional.

Y para terminar, el consumo de agua de la canopia (y por tanto también su tolerancia-resistencia a episodios de déficit hídrico) está también claramente influido por la cantidad de frutos. Por lo general, la "presencia" del racimo estimula la transpiración de la hoja, pero, al mismo tiempo, hay que tener presente que una vid "cargada", frente a una cepa con una producción más equilibrada, dispone de una superficie foliar menor y, por tanto, sus consumos hídricos son más medidos. Aun así, como muestra la fig. 6, cuando el estrés hídrico golpea una vid con una amplia disponibilidad de superficie foliar funcional por unidad de producto (caso A), decididamente puede determinar un descenso en la funcionalidad de la canopia aunque sin alcanzar el umbral de insuficiencia; viceversa (caso B), un estrés que alcanza a una vid ya "grávida" de una carga abundante casi seguramente determinará un déficit objetivo de asimilados y casi con total seguridad repercutirá negativamente sobre la maduración.

II.11.4. La respuesta de la vid al estrés hídrico

Independientemente del nivel de estrés hídrico efectivo que se desarrolla en el suelo, es importante conocer el grado de sensibilidad al estrés de los principales procesos de crecimiento y maduración. En este contexto, en el caso de la vid, es imprescindible mencionar la fase del envero, que marca un antes y un después.

Esta elección no se basa sólo en el hecho que durante el envero se desencadena la compleja bioquímica de la maduración, sino también y sobre todo porque

durante el envero, como muestra la figura 7, en el sistema brote-racimo se producen importantes mutaciones relacionadas con la conductividad hidráulica, y con la sensibilidad al déficit hídrico. Más en concreto, a partir de esta fase fenológica, la vascularización a nivel del pedicelo tiende a ser cada vez más complicada a causa de la progresiva disfunción del xilema. Éste, del envero en adelante, contribuye mínimamente al "equilibrio hídrico" ya que del 85% de las necesidades del grano se hace cargo el floema. (Fig. 7)

II.11.4.1. Crecimiento de los brotes

Es, de largo, el proceso más susceptible al estrés, y uno de los indicadores más precoces y fiables (fig. 8). Una reducción en la velocidad de crecimiento de los brotes puede ser positiva o negativa según la situación cultural específica: es claramente negativa si golpea vides jóvenes que aún tienen que estructurar su propio esqueleto o si se manifiesta tan pronto como para comprometer el crecimiento vegetativo y la formación de una canopia completa y eficiente. Pero, por el contrario, esta reducción podría resultar ventajosa si se produce en vides adultas particularmente vigorosas porque serviría para atenuar la densidad de la canopia y supondría beneficios a nivel fitosanitario y cualitativo. Además, de forma casi paradójica, en este caso, un cierto nivel de estrés podría conllevar un aumento de la diferenciación a flor de la yemas debido a la mejora del microclima luminoso que se obtiene con la reducción del crecimiento vegetativo.

No hay razones para pensar que, dependiendo de la época, el crecimiento sea más o menos sensible al estrés. Es algo mucho más simple: un estrés temprano tiene más posibilidades de afectar el vigor vegetal porque estaría manifestándose en una fase marcada por la velocidad de crecimiento de los brotes (Fig. 8).

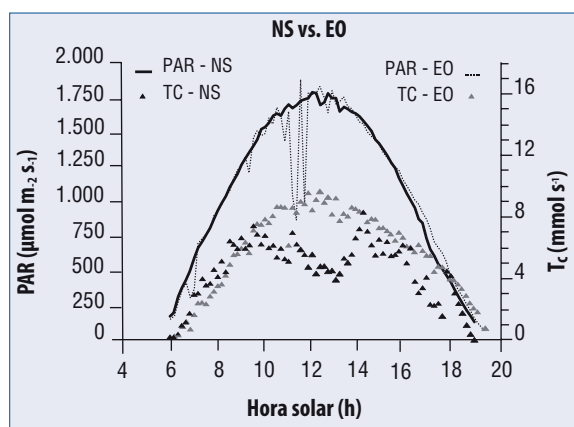


Fig. 5. Evolución diaria de PAR y transpiración de la canopia (TC) para vides en espaldera con orientación Norte-Sur (—, ▲) y Este-Oeste (---, ▲). Las canopias, en el momento de la medición, habían alcanzado un desarrollo de aproximadamente 4 m² de superficie foliar (Extraído de Intriери et al., 1998).

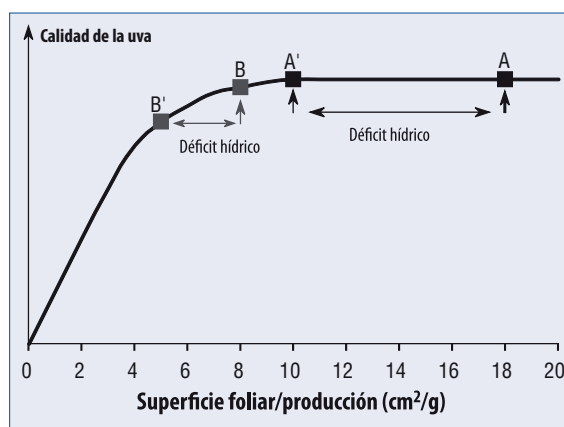
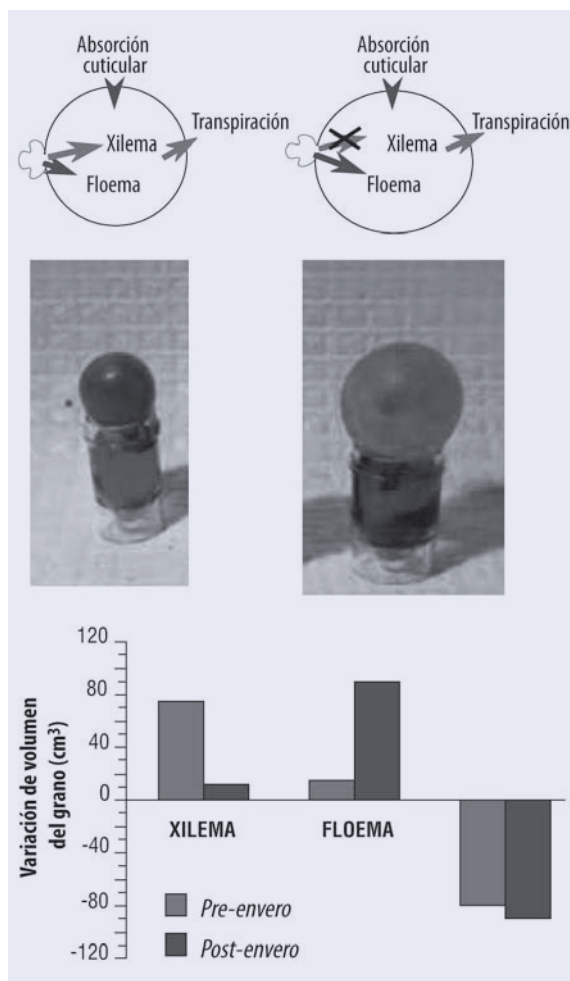


Fig. 6. Modelo de respuesta probable al déficit hídrico para casos diferenciados (A y B) en términos de relación entre área foliar (fuente) y producción (sumidero). En el caso A, el efecto del estrés provoca una reducción de la fuente (A') que no perjudica la calidad global de la uva. En el caso B, la reducción de funcionalidad foliar que se deriva del déficit hídrico, provoca tal descenso de la relación SF/P (B') como para tener efectos negativos sobre la calidad de la uva. Esquema del autor.

II.11.4.2. Crecimiento de las bayas

Los estadios tempranos de crecimiento de la baya (2 primeras semanas después de la floración) son particularmente sensibles al estrés hídrico. Cuando el estrés golpea un grano que está todavía en fase de división celular reduce el número de células producidas y provoca efectos de larga duración que todavía estarán presentes con la vendimia (granos más pequeños). Esta característica reduce la producción pero suele ser beneficiosa en términos de calidad (una mayor relación hollejo/pulpa). En líneas generales, podría afirmarse por tanto que cuánto más temprano sea el déficit, mayor será el efecto limitativo que tendrá sobre el crecimiento de la baya y, en definitiva, sobre sus dimensiones finales (Fig. 9). Antes del envero, la sensibilidad al estrés del grano no difiere en mucho de



Esquema que resumen los flujos hídricos de entrada y salida del grano en pre- (arriba a la izquierda) y post-envero (arriba a la derecha). En el centro (izquierda), una baya recogida antes del envero que ha absorbido el color (demostración de una buena conductividad xilemática), en el centro (derecha) una baya recogida después del envero en la que el color no ha fluido hasta el interior (demostración de una funcionalidad xilemática complicada). En la gráfica inferior (extraído de Greenspan *et al.*, 1992) se propone una cuantificación, sobre una base diaria, de los flujos hídricos de entrada a través del xilema y el floema antes y después del envero y la correspondiente pérdida hídrica por transpiración.

la de los brotes y, en algunos casos, se ha demostrado, especialmente en días muy calurosos, que la baya puede llegar a ceder agua al brote por vía xilemática.

La situación es diferente si el estrés golpea después del envero. Una observación empírica muy simple, pero muy eficaz, nos permite, por ejemplo, entender que al principio del envero, el racimo de un sarmiento cortado se deshidrata mucho más lentamente que las hojas (Fig. 10). De hecho, se sabe que el grano de uva adquiere a partir del envero una cierta tolerancia al estrés en parte gracias a la conexión xilemática con el sistema "brote", y en parte porque se da una casi completa desactivación de la funcionalidad estomática que, de hecho, lo convierte en un órgano muy poco reactivo a los estímulos atmosféricos (variaciones de radiación o de DPV).

II.11.4.3. Maduración

Una directa aplicación del concepto según el cual los granos enverados son más resistentes al déficit hídrico que los verdes llevaría a la conclusión de que, a igual intensidad, las formas de estrés temprano son más dañinas para la calidad que las tardías. Aunque este axioma es en esencia cierto, necesitaría ser articulado con más detalle, y eso hemos intentado en la tabla 4.

Por lo general, un déficit hídrico antes del envero provoca una reducción del tamaño del grano y, aunque limita la cantidad total de azúcar producida, determina un aumento de su graduación. Aun así, si el estrés es severo y prolongado, esta característica tiende a atenuarse porque la funcionalidad fotosintética de la canopia queda en entredicho y contrarresta el efecto positivo que supone la "concentración" de solutos. Además, se ha comprobado científicamente que un considerable nivel de estrés hídrico temprano puede influir negativamente en la síntesis enzimática previa a la biosíntesis de los antocianos y al nivel de "extracción" de los mismos en el momento de la fermentación.

Una visión de conjunto de las relaciones que se esta-

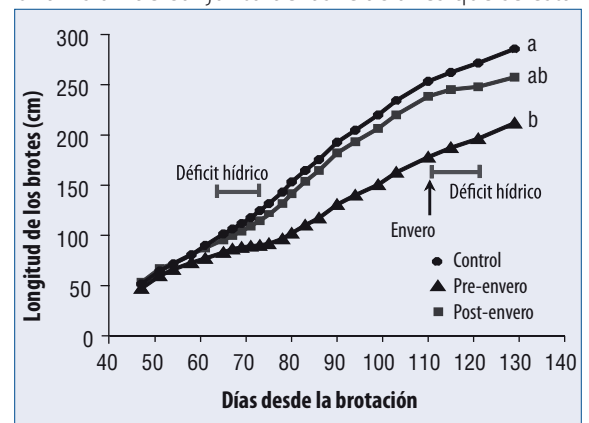


Fig. 8. Efectos del déficit hídrico antes y después del envero sobre el crecimiento de los brotes de vides pinot noir conducidas en vaso. Extraído de Poni *et al.*, 1993.



Fig. 9. Demostración gráfica de los efectos del déficit hídrico aplicado antes y después del envero sobre el tamaño final de los granos de shiraz frente a una tesis regada de forma regular durante todo el ciclo. Extraído de Ojeda, 2003.



Fig. 10. Detalle de un sarmiento de sangiovese fotografiado exactamente una hora después de haber sido cortado. Las hojas están ya casi marchitas mientras que el racimo presenta todavía su turgencia habitual (foto S. Poni).

blecen entre un déficit tardío (post-envero) y la calidad cuenta con numerosos apuntes que evidencian que los vinos obtenidos de cepas “estresadas” suelen presentar una coloración más intensa y más “cuerpo”. Aun así, también en este caso, no habría que generalizar: si después del envero, especialmente en la última fase de la maduración, el estrés se volviera excesivo (algo más frecuente en vides muy cargadas y, por tanto, ya limitadas por su relación área foliar/producción) se corre el riesgo de producir vinos concentrados pero más bien monótonos y/o simples desde el punto de visto aromático. Además, un déficit severo post-envero por lo general viene acompañado de temperaturas altas y fatales (nocturnas y diurnas) que, especialmente en algunas variedades, provocan una “caída” precipitada de la acidez fija y una elevación anómala del pH.

Por lo que respecta a los efectos del déficit hídrico sobre el ácido málico y el ácido tartárico, los estudios realizados apuntan a que, más que reaccionar directamente al estrés, son sensibles a los factores que éste modifica. Por ejemplo, si se produce una disminución de la canopia (derivada, por ejemplo, de carencias hídricas) se produce una mayor exposición termolumínica de los racimos y, con ella, una degradación más rápida del ácido málico; en el caso del tartárico, sintetizado por los órganos vivaces, un déficit hídrico, que retrasa o frena el desarrollo de los nietos, favorece una disminución de este componente.

Tabla 4

Variaciones relativas de algunos parámetros de calidad de la uva en relación con diferentes épocas de estrés hídrico

	R	E-Pre-env.	E-Post-env.
Sólidos solubles (°Brix)	0	+	-/0/+
Sólidos solubles (mg/grano)	0	—	—
pH	0	0	0/+
Acidez tit.	0	0/-	-
Antocianos (mg/cm ²)	0	+/0/Δ	+
Malato	0	-	—
Prolina	0	+	0

Datos expresados en escala relativa (0 asignado a la tesis regada; + indica incremento; - indica disminución; 0 indica invariabilidad respecto a I). I = Irrigado; E = estresado. Rec. de AA.VV.

Resumiendo, en los próximos años, también en los ambientes templado-húmedos, la problemática más patente será cómo lograr gestionar un déficit “moderado”, ya que éste podría revelarse como un factor clave para la calidad, especialmente en el caso de las uvas tintas. Alcanzar este objetivo debería depender de una estudiada selección del tipo de mantenimiento del suelo (nivel de competición del pasto con la vid) y del riego de socorro.

II.11.5. La gestión de las aportaciones de riego: ¿cuándo hay que empezar a regar el viñedo?

La pregunta que se plantea en el encabezado de este apartado es probablemente, de entre todas las demás, la más importante a la hora de establecer una estrategia de riego. Obviamente, para poder decidir cuándo poner en marcha el sistema de riego, hay que contar con información sobre el estado hídrico del suelo y/o de la planta. Aun así, independientemente de la unidad que se elija para “monitorizar” el estado hídrico del terreno, conviene recordar que la vid es capaz de soportar un nivel débil o moderado de estrés sin que, en el contexto, se registre un descenso significativo de la funcionalidad foliar.

Este concepto queda reflejado en el ejemplo de la fig. 11 donde se aprecia un “consumo hídrico de lujo” representado por una franja de valores de conductancia estomática (gs) dentro de la cual la fotosíntesis neta (Pn) no varía, y de una zona de dependencia directa entre Pn y gs caracterizada, al principio, por unos mecanismos estomáticos reversibles (los estomas se cierran parcialmente en las horas más calurosas de la tarde para volver a abrirse completamente a la mañana siguiente) y después, coincidiendo con valores de estrés elevados, prevalecen los mecanismos no estomáticos (fotoinhibición, degradación enzimática, etc.) que provocan daños permanentes en el sistema fotosintético.

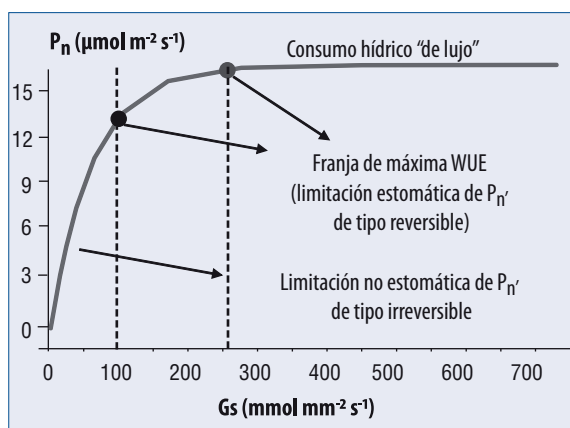


Fig. 11. Modelo hipotético de variación de la fotosíntesis neta (pn) al variar de la conductancia estomática (gs) que identifica una zona de consumo hídrico de "lujo", una franja de máxima eficiencia en el uso del agua (WUE), donde la limitación estomática de Pn tiene una naturaleza mayoritariamente reversible, y una zona por debajo de la cual el descenso de fotosíntesis, en función sobre todo de factores no estomáticos, no se recupera ni tan siquiera restableciendo las condiciones óptimas de disponibilidad hídrica. Extraído de Flexas, *et al.*, 1999.

La relación reflejada en la figura 11 tiene un indiscutible valor aplicativo, ya que define la existencia de un umbral óptimo del "estado hídrico del viñedo" (representado por el punto verde) y un umbral de alarma (punto amarillo) del que no habría que bajar y que indica la "obligatoriedad" de recurrir a una operación de riego. Además, la gráfica define muy bien también un concepto tal vez demasiado utilizado en viticultura, el "riego deficitario controlado" (RDC) que, simplemente consiste en devolver al terreno, mediante el riego, una cantidad de agua que supone sólo una fracción (y no el 100%) de las necesidades de la planta. Es decir, la técnica de RDC intenta no llevar a la vid más allá del umbral del "consumo hídrico de lujo" manteniéndola cerca de la franja óptima de "eficiencia en el uso del agua".

Por tanto, el viticultor se enfrenta al problema de identificar con precisión el momento de la estación en el que comenzar a regar.

En este sentido, se plantean básicamente 4 modalidades diferentes de afrontarlo, aquí las describimos y comentamos:

- Cálculo del balance hídrico de la plantación sobre la base de las aportaciones pluviométricas y del consumo calculado sobre la base de la evapotranspiración potencial corregida con el coeficiente de cultivo;
- Análisis visual y táctil del terreno y de algunos órganos aéreos (pámpanos, zarcillos, granos);
- Medición de parámetros ligados al contenido y/o potencial hídrico del suelo;

- Medición de parámetros ligados al estado hídrico de la planta o porciones de la misma.

El cálculo del balance hídrico es el método convencional para identificar el momento idóneo para comenzar el riego. Se basa en el cálculo (diario o a intervalos de tiempo más largos) de la llamada evapotranspiración efectiva del viñedo (ETe) calculada como el producto de la evapotranspiración potencial (ETp) x el llamado "coeficiente de cultivo" (kc) cuyo deber estratégico es adaptar el cálculo teórico de las necesidades hídricas del viñedo (ETp) al consumo efectivo del viñedo (suma de evaporación del suelo + transpiración de la canopia). En la tabla 5 se recoge un ejemplo numérico del balance hídrico estacional de un viñedo donde se recurre al riego cuando la tasa de agua disponible se ha reducido en un 50% frente a la máxima inicial.

El punto débil del método de "balance hídrico" no es la estimación de la ETp (fácilmente obtenible mediante evaporímetros de clase A o mediante ecuaciones con los parámetros climáticos de radiación solar, temperatura, humedad relativa del aire, velocidad del viento) sino más bien el cálculo de los valores del kc. Estos están disponibles en la literatura publicada (Tab. 6), calculados para distintos "tipos de viñedos" básicamente según su ubicación geográfica (latitud) y, por tanto, según la mayor o menor precocidad de su ciclo anual. Además, la variación estacional de kc demuestra que éste depende de la fase fenológica y, por tanto, del estadio de desarrollo de la canopia (altura, espesor, densidad).

El límite más evidente que presentan los valores de kc tipificados en la literatura es que no tienen en cuenta la variabilidad que se deriva de la geometría de la canopia característica de los distintos sistemas de conducción. En este sentido, se puede intuir que en un mismo momento de la estación y en un mismo ambiente, el consumo hídrico de una pérgola puede diferir, y mucho, del de una espaldera alta y estrecha. Por este motivo, consideramos interesante mostrar al lector un método (Fig. 12 y Fig. 13) para realizar una estimación del Kc "in situ", que se centra básicamente en la medición del área de suelo sombreada por la canopia, preferentemente en las horas centrales del día, cuando mayor es la demanda transpirativa por parte de la atmósfera.

El análisis visual y/o táctil del terreno y de algunos órganos aéreos consiste en una serie de métodos empíricos, basados en la experiencia y en la capacidad de observación del viticultor y que, evidentemente, no son tan precisos como los que se parten de la "medición" de parámetros ligados al estado hídrico del suelo y de la vid pero, aun así, pueden aportar información útil sobre todo para identificar los primeros síntomas de una situación de estrés. La figura 14 recoge una casuística comparativa de algunas de las propiedades visuales y táctiles de un terreno franco a diferentes ni-

Tabla 5
Un ejemplo de balance hídrico basado en el cálculo de ETe que plantea la operación de riego cuando el AD (127 mm/m) se ha reducido en un 50%

Día	H ₂ O en el suelo (mm/m)	ETe (mm)	Variación (mm)	Aportaciones (mm)
0	127	-	-	0
3	117,7	2,6	-2,6	0
6	107,2	4,1	-4,1	3
11	102,7	2,5	+9,5	12
12	104	2,7	+1,3	4
23	64,2	2,8	-2,8	0
24	124,3	2,9	+60,1	63
26	117,3	3,5	-3,5	0

Datos extraídos de Shockley, 1956.

veles de "agua disponible". Así, los primeros síntomas del estrés a menudo se asocian a una reducción anómala de la velocidad de crecimiento de los brotes, a un cambio del aspecto del ápice vegetativo (menos curvado, más rígido y con tendencia a un verde más oscuro) y de algunas características de las hojas (sensiblemente más calientes al tacto y con tendencia a un porte más postrado, muy útil para "rehuir" la radiación incidente).

La medición de los parámetros ligados al contenido y/o potencial hídrico del suelo es un planteamiento tradicional, aunque algunas de las metodologías que se utilizan son relativamente recientes. Para medir el potencial hídrico del suelo (o sea, la fuerza, expresada en bar o kPa, con la que el agua es retenida por la fracción sólida del terreno) se puede recurrir a tensiómetros (idóneos para operar hasta una tensión máxima de -0,85 kPa) o a bloques Bouyoucos (más fiables que los tensiómetros en terrenos de grano fino).

El coeficiente de cultivo (kc): ¿cómo calcularlo?

A. Distancia entre las hileras = 3m
 B. Distancia entre las cepas = 1,2 m
 C. Superficie de suelo disponible por cepa = A x B = 3,6m²
 D. Anchura media de suelo sombreado por la vid = 1,00 m (ver foto 4)
 E. Superficie de suelo sombreado por la vid = B x D = 1,2 m²

↓

Porcentaje de superficie sombreada por la vid
(PSS) = E/C = (1,2/3,6*100) = 33

↓

Kc = 33 x 0,017* = 0,56

Partiendo de una hipotética evapotranspiración potencial semanal de 45 mm, la cantidad máxima (semanal) que el riego debe reponer será de 45 x 0,56 = 25,2 mm

Fig. 12. Un ejemplo de cálculo del coeficiente de cultivo (kc) para un tipo de viñedo conducido en espaldera (ver Fig. 4) con marco de plantación de 1,2 m en la fila y 3 m entre filas. El cálculo, para una jornada veraniega y soleada, se basa en la cuantificación de las medidas de la sombra que la canopia proyecta sobre el suelo que se considera un buen indicador de la radiación interceptada y, por tanto, de la pérdida de agua. El valor de 0,017 utilizado en la ecuación para el cálculo de kc lo estableció Williams (2001) y describe la relación que surge entre el porcentaje de terreno sombreado y kc, determinada por vía disimétrica sobre la variedad Thompson Seedles.

Viceversa, para determinar el contenido hídrico del suelo (normalmente expresado en porcentaje sobre volumen), además del siempre válido método gravimétrico (humedad deducida por la diferencia entre el peso de una muestra de terreno húmeda y secada después en una estufa a 105°C hasta peso constante) también hay disponibles instrumentos bastante sofisticados, como la sonda de neutrones o los sistemas de recogida de datos TDR (time domain reflectometry = reflectometría de dominio temporal). En concreto,

Tabla 6
Valores indicativos de la variación estacional del coeficiente del cultivo (kc) para la vid, elaborados a partir de datos de la FAO

Ene.	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Ago.	Sept.	Oct.	Nov.	Dic.
Vides adultas típicas de ambientes fríos con heladas frecuentes; brotación a comienzos de mayo, vendimia a mediados de septiembre; cobertura del terreno cercana al 40-50% a mitad del ciclo.											
-	-	-	-	.45-.5	.65-.75	.75-.9	.8-.95	.75-.9	.65-.75	-	-
Vides adultas típicas de ambientes templados con un riesgo moderado de heladas; brotación a comienzos de abril, vendimia a finales de agosto, principios de septiembre; cobertura del terreno cercana al 30-35% a mitad de ciclo.											
-	-	-	.45-.5	.55-.65	.6-.75	.6-.75	.6-.75	.6-.75	.5-.65	.35-.4	-
Vides adultas típicas de ambientes cálidos, inviernos suaves; brotación a finales de febrero, principios de marzo; vendimia a finales de julio, primeros días de agosto; cobertura del terreno cercana al 30-35% a mitad del ciclo.											
-	-	.25	.45	.6-.65	.7-.75	.7-.75	.65-.7	.55	.45	.35	-

Las necesidades hídricas estacionales pueden oscilar entre 500 y 1200 mm, según el tipo de clima y la duración del ciclo vegetativo.



Fig. 13. La anchura media de la sombra que la canopia proyecta sobre el suelo, medida en el momento del día en que el sol está alto en el horizonte, es un indicador bastante preciso para estimar el valor de k_c ya que representa la cantidad de luz interceptada y, con ella, la pérdida de agua por transpiración. La medición de la porción de suelo sombreado por la canopia puede realizarse también mediante métodos más precisos (barra lineal con multi-sensores) que determinan la cantidad de energía lumínica que llega a tierra frente a la máxima que incide por encima de la canopia. Foto Ed Hellman de la web <http://winegrapes.tamu.edu>

estos últimos forman parte de los instrumentos de última generación ya que se basan en la determinación de la constante dialéctica del suelo, mediante la medición de la velocidad de propagación de una señal electromagnética en la banda comprendida entre 1 Mhz-1 Ghz. Ya que la constante dieléctrica del agua (81,5 a 20°C) equivale a casi 20 veces la del terreno seco (2-3), los valores registrados son proporcionales al contenido en volumen de agua en el terreno.

Desde el punto de vista de su utilidad práctica, en la toma de decisiones, el parámetro del potencial hídrico es más fiable que el del contenido hídrico porque no está sujeto a la variabilidad derivada de la textura. No es casual que muchos de los planes de estrategia de riego que se utilizan hoy en día, por ejemplo en Australia (país a la cabeza en la gestión de recursos hídricos en el viñedo), se basen precisamente en la monitorización de este parámetro. En líneas generales, hay un cierto consenso a la hora de establecer el umbral del potencial hídrico por debajo del cual el sistema radicular empieza a manifestar evidentes dificultades de absorción entre -0,2/-0,3 MPa (Fig. 15).

Y finalmente, para determinar el mejor momento para comenzar el riego también se puede recurrir a métodos que, aunque desde planteamientos diferentes, se basan todos en la valoración del estado hídrico de la vid o de sus órganos específicos. Por lo general, estos métodos son muy preferibles a los que se basan en mediciones relacionadas con el terreno, porque superan los problemas ligados a la heterogeneidad de éste y la dificultad de comparar los datos de disponibilidad hídrica del suelo con aquellos del estado hídrico efectivo y funcionalidad de la parte aérea.

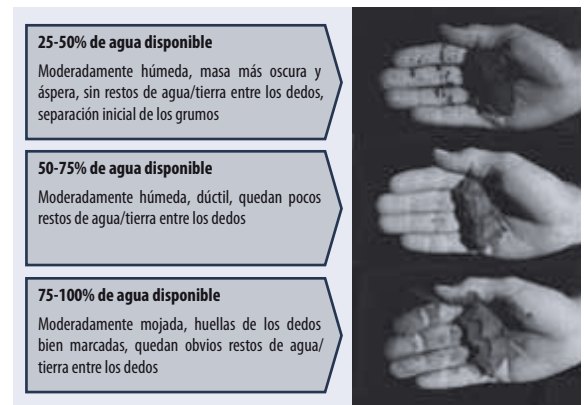


Fig. 14. Relación entre clases de agua disponible y características visuales y táctiles para un terreno franco. Readaptación de la web <http://www.mt.nrcs.usda.gov/> de la NCRS Montana, USA ®.

El potencial hídrico foliar (ψ_f), determinado mediante una cámara de presión (Fig. 16), facilita una cuantificación directa de la "tensión" con la que las hojas retienen el agua xilemática, y ésta es una buena indicadora del nivel de estrés. Por ejemplo, es raro que se den limitaciones de funcionalidad foliar o síntomas macroscópicos de sufrimiento si el valor ψ_f se mantiene por encima de -1,0 MPa (equivalente a aproximadamente -0,80 MPa para las medidas relacionadas con el potencial hídrico del tronco). Aun asumiendo los límites objetivos de este método (las mediciones deben llevarse a cabo con considerable rigor metodológico y, necesariamente, sólo pueden extenderse a un número limitado de individuos), en distintas zonas de California, sobre todo en fincas de dimensiones considerables, el ψ_f obtenido cerca del mediodía solar se utiliza como indicador preferencial del "comienzo" del estrés, establecido, para las variedades blancas, por debajo de 1,0 MPa y, para las tintas, por debajo de 1,2 MPa. Más recientemente, también han tenido cierta difusión metodologías capaces de integrar con una única lectura el estado hídrico de toda la canopia o de monitorizar, de forma continua y automatizada, el grado de turgencia de órganos específicos como el

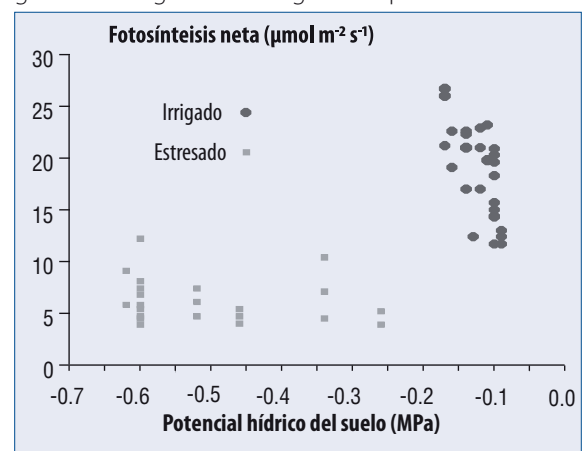


Fig. 15. Relación que se da entre la fotosíntesis neta de la hoja ($\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) y el potencial hídrico del suelo (-MPa) para la variedad "concord" (*Vitis labruscana* B.) para una tesis regada (●) y una estresada (■) en post-enero. Datos recogidos 82 días después de la floración. Extraído de Poni *et al.*, 1994.

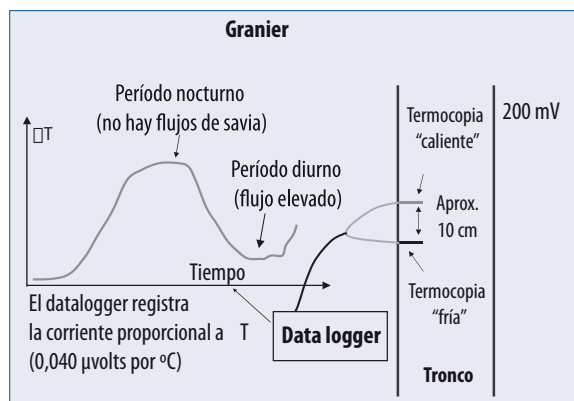


Fig. 17 Un esquema, a la derecha, del posicionamiento de las termopías sobre el tronco de la vid para aplicar el método "Granier", idóneo para obtener una estimación del valor de la velocidad de la savia xilemática y, mediante algunos cálculos numéricos (Granier, 1985), de la pérdida transpirativa de la canopia completa. A la izquierda, una gráfica que muestra la fluctuación día-noche del ΔT (diferencial de temperatura entre termocopia fría y caliente) en función del flujo transpirativo. Esquema del autor.

tronco, los brotes o los granos. No hay duda de que, en este sentido, la aportación más novedosa e interesante han sido las técnicas basadas en la transferencia de calor por parte de la savia xilemática que, aplicadas correctamente, abren la interesante posibilidad de realizar mediciones de la pérdida hídrica de la canopia sin alterarla en modo alguno. El método Garnier, el más fiable para la vid incluso en el caso de cepas con un diámetro considerable de tronco (Fig. 17), se basa en la relación de dependencia que se da entre la velocidad del flujo xilemático y la diferencia de temperatura entre 2 puntos del sistema de conducción. Más concretamente, la técnica consiste en la inserción de 2 termopías en el tronco, a pocos cm la una de la otra. Una de ellas (la superior) se calienta mediante un impulso de corriente de bajo voltaje (aprox. 200 mV). La diferencia de temperatura (ΔT) que se da entre las 2 termopías varía en función del volumen de "enfriamiento" que provoca el tránsito de savia xilemática;



Fig. 18 Un ejemplo de sensor LVDT (Linear Variable Displacement Transducer), en este caso aplicado sobre un melocotonero, capaz de monitorizar las contracciones diarias del diámetro del tronco. Foto IRTA, Barcelona, España

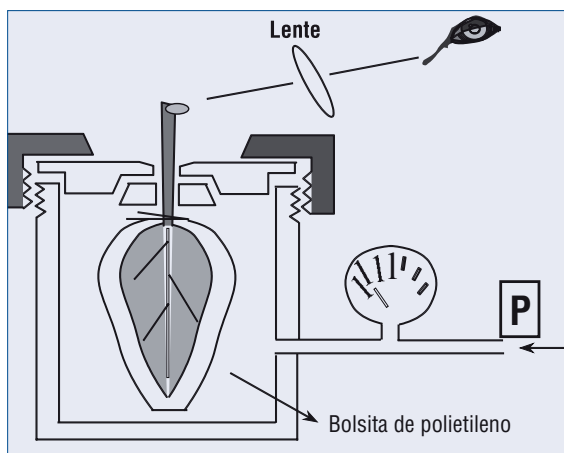


Fig. 16. Cámara de presión para la medición del potencial hídrico foliar (ψ_f). La hoja cortada se embolsa rápidamente, se introduce en la cámara y se presuriza de forma gradual hasta que aflora la primera gota de savia xilemática por el corte del pedúnculo. La presión que marca el manómetro en ese preciso momento equivale, en sentido opuesto, a la tensión (potencial hídrico) con la que la hoja retiene el agua. Esquema del autor.

por la noche, cuando no hay transpiración, el ΔT es máximo, mientras que de día tiende a reducirse con el aumento del flujo.

Estas técnicas están revolucionando los sistemas de control del riego de las plantaciones (hoy en día disponibles incluso con mando a distancia), que se activan cada vez que el parámetro del estado hídrico preseleccionado (contracción diametral diaria de la cepa o del grano, temperatura de la hoja, velocidad de transporte de la savia) desciende por debajo del umbral prefijado (Fig. 18). Además, estos mismos sistemas de control suelen basarse por lo menos en la acción de 2 sondas (ej. sensores que miden el contenido y el potencial hídrico del suelo) una de ellas ubicada a una cierta profundidad (60 cm en este ejemplo concreto) que establece cuándo tiene que activarse el sistema de riego, y una más superficial que "avisa" de la aproximación del frente de agua y transmite la señal

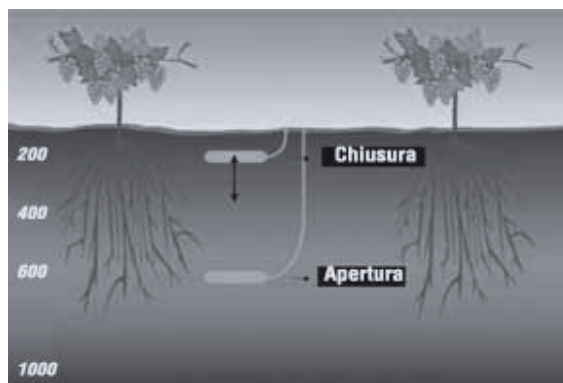


Fig. 19 Una hipótesis de gestión "inteligente" del sistema de riego basado en el uso de 2 sondas. La más profunda encargada de dar la señal de encendido del sistema, y la más superficial, responsable del sistema de apagado. Readaptación de la web <http://www.iisystems.com.au/> de la Intelligent Irrigation System, Australia

de cierre (Fig. 19). Es obvio que, si varía la profundidad de la sonda y/o el valor de umbral de los distintos parámetros hídricos, se pueden obtener innumerables combinaciones de dinámicas de riego.

II.11.6. La gestión de la aportación de riego: ¿cuánta agua hay que reponer?

La relación entre fotosíntesis y conductancia estomática descrita en la figura 7 encierra el significado "fisiológico" de la técnica de RDC que, en última instancia, es el mismo para todas las estrategias de riego: aunque sea mediante métodos diferentes, todas las estrategias contemplan la reposición de una parte de la evapotranspiración efectiva (ETe). El objetivo último es provocar un cierre estomático parcial haciendo que la hoja "trabaje" cerca del punto de saturación de la curva, manteniendo una fotosíntesis máxima o por lo menos elevada, y evitando, a la vez, la franja de "consumo de lujo". Por otra parte, conviene insistir en que más allá de un determinado nivel de estrés, se entra en una fase de limitación directa de la Pn que, en los casos más graves, se acompaña de pérdidas irreversibles de la capacidad fotosintética. Es obvio, por tanto, que no puede obtenerse un producto excelente de vides estresadas durante demasiado tiempo o con una funcionalidad foliar seriamente comprometida.

De forma más detallada, conviene evitar el estrés temprano que limita el desarrollo foliar y no permite alcanzar el nivel deseado de 12-15 hojas por pámpano que se considera mínima para asegurar una correcta maduración del producto. Por otra parte, el estrés severo a mitad o al final de la temporada, inhibe la funcionalidad de la canopia y, en la práctica, invalida o vuelve insuficiente su correcto proceso de formación. En muchas ocasiones, durante una añada particularmente seca, la maduración puede ser sólo aparente, ya que la elevada graduación de azúcares es, en gran medida, fruto de la acumulación de solutos y no de una importación "neta" de azúcares. Además, un estrés severo termina por empeorar, de forma casi invariable, el cuadro aromático ya que este tipo de componentes se sintetizan en su mayoría en la fase final de la maduración. No es raro, que en añadas secas, pese a que las bayas son pequeñas y con buen extracto, se den vinos poco típicos o atípicos, particularmente planos, sin aromas afrutados, poco complejos y de vida breve.

En definitiva, la "cantidad" de agua que el turno de riego debe reponer, la determinan la exigencia o el deseo de establecer un sistema de RDC y la variable sensibilidad de la vid al estrés, en función de su fase fenológica. La casuística que se puede extrapolar de los países que más utilizan sistemas de riego sugiere que, en el caso de la uva de mesa, el tamaño máximo de la baya se alcanza con un nivel de riego próximo al 75-80% del máximo calculado como ETe, mientras que para la uva de vino, que obedece a exigencias mercadológicas completamente diferentes, la reposi-

ción por lo normal oscila entre el 30 y el 70% de la ETe máxima.

Obviamente, hay un consenso general sobre la importancia de evitar el estrés en el período comprendido entre la brotación y la floración, cuando no debe haber limitaciones al crecimiento del sistema foliar y a la formación de los órganos florales. Por lo contrario, el plan de riego, su cantidad y forma de aportación, debe llevarse a cabo entre la floración y la maduración. Para ayudar al lector, proponemos 3 casos que evidencian las ventajas y desventajas de las estrategias de riego. En estos ejemplos, el parámetro prefijado para definir la intensidad del estrés es el potencial hídrico del suelo (ψ_s). El estrés se considera nulo o leve si se mantiene entre 0 y -0,2 MPa, leve o moderado hasta -0,4 MPa, moderado o fuerte hasta -0,6 MPa, y fuerte por debajo de -0,6 MPa.

Caso A. Engloba los casos en los que, a partir de la floración y hasta la maduración, el potencial hídrico del suelo se mantiene a niveles casi óptimos (Fig. 20). Describe, con bastante acierto, la situación en la que el consumo de ETe se repone al menos en un 80%, con independencia de la fase fenológica. Hoy en día, en los países con mayor tradición de riego, esta estrategia pasa por ser la que menos prima la calidad, ya que suele reproducir los problemas clásicos que se derivan de la combinación de un vigor excesivo -propio de ambientes de alta pluviosidad (incluso en verano)- y unos terrenos bastante fértiles: canopias demasiado densas, racimos compactos compuestos por bayas de gran tamaño con una relación baja de hollejo/pulpa, a menudo una exposición insuficiente de los racimos, y una fuerte incidencia de pudriciones de distinto tipo.

En este caso, la solución podría ser una operación de poda en verde (despunte, deshojado, colocación de los pámpanos), una división de la canopia (que distribuye la capacidad vegetativa total de la planta sobre más brotes, fijados sobre 2 planos en lugar de uno como en las espalderas tradicionales) o recurrir a técnicas de cubierta vegetal (aunque no son siempre fáciles de calibrar en función de la reducción de vigor que se pretende).

Caso B. Se mantiene una disponibilidad hídrica óptima entre la floración y el envero, y un planteamiento de déficit leve o moderado (-0,2 MPa < ψ_s < -0,4 MPa) después del envero y hasta la vendimia, de forma que se reduce el crecimiento vegetativo de forma gradual, hasta detenerlo, y se obtiene una ligera reducción del tamaño de las bayas (Fig. 21). Esta es una estrategia de RDC preferible sobre todo para variedades blancas que soportarían mal un nivel de estrés superior, ya que normalmente deben conservar características de vivacidad y perfumes frescos. La primera se puede preservar fácilmente creando un "efecto pantalla" de las hojas sobre los racimos -con lo que se protege el

ácido málico-, o tratando de estructurar una canopia no demasiado "vieja" y por tanto más predispuesta a la síntesis de ácido tartárico (recordemos que son las hojas más jóvenes las que lo producen). Además, en las variedades blancas, un estrés demasiado severo después del envero llevaría, casi con total seguridad, a la formación de aromas demasiado afrutados o incluso acaramelados.

En general, la estrategia de riego descrita en el caso B podría adaptarse bien a viñedos, sobre todo en colina, donde las condiciones pedoclimáticas ya no impulsan demasiado el crecimiento vegetativo de las cepas.

Caso C. Se da un planteamiento de déficit leve o moderado ($-0,2 \text{ MPa} < \psi < -0,4 \text{ MPa}$) entre la floración y el envero, y un déficit moderado o fuerte ($-0,3 \text{ MPa} < \psi < -0,6 \text{ MPa}$) después del envero y hasta la vendimia (Fig. 22). Este esquema de RDC es más restrictivo que el anterior porque apuesta, aún más, por la contención de la actividad vegetativa y por la concentración de solutos que se da con la reducción del tamaño de la baya. Aunque, el estrés no debería perjudicar la capacidad fotosintética de las hojas, con la adopción de este tipo de estrategia, lo normal es que se dé un amarilleamiento de las hojas basales opuestas al racimo ya después del envero.

En líneas generales, esta estrategia de control de riego parece más indicada para las variedades tintas que para las blancas, ya que las primeras se benefician de una mayor relación hollejo/pulpa provocada por la reducción del tamaño de la baya y por la mayor concentración de solutos en el interior del grano. Ya que el caso C plantea la aplicación de un déficit -aunque leve- desde la floración, esta estrategia de riego podría adaptarse muy bien a zonas con un fuerte impulso vegetativo (incluso en algunas zonas de llanura) donde la contención de la producción y la prolongación excesiva del crecimiento de los brotes suelen ser un problema recurrente.

Se entiende que los casos propuestos plantean sólo directrices y que, en un ambiente concreto en el que cada año se intenta aplicar una determinada estrategia de riego, los resultados pueden variar, y mucho, en función de las condiciones climatológicas (en particular la demanda evapotranspirativa) y de las técnicas de cultivo. Además, hay emplazamientos vitícolas que se caracterizan, más que otros, por unas condiciones pedológicas que predisponen a una nutrición hídrica "ideal". Un caso interesante es el de los terrenos porosos, por ejemplo, los pedregosos cuyo drenaje es óptimo pero que presentan, por debajo de la capa de componentes sólidos, un estrato húmedo (por capa freática alta o por cambio de textura, por ejemplo). En estas situaciones, algunas raíces profundas están siempre en contacto con la fuente hídrica, pero su aportación no supone un estímulo

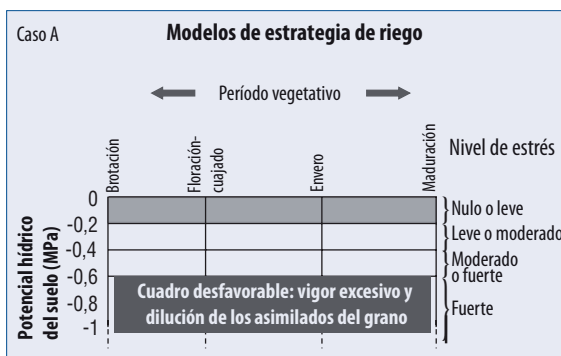


Fig. 20 Una hipótesis de estrategia de riego del viñedo (caso A) que plantea, desde la brotación hasta la maduración, el mantenimiento de un nivel de potencial hídrico del suelo que se corresponde con una condición de ausencia de déficit o déficit leve. Rediseñado a partir de Ojeda *et al.*, 2003

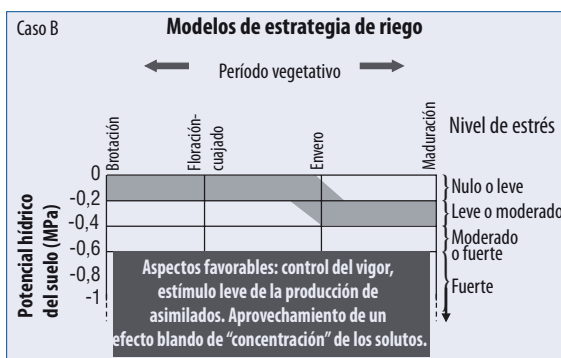


Fig. 21 Una hipótesis de estrategia de riego del viñedo (caso B) que plantea, desde la brotación al envero, el mantenimiento de un nivel de potencial hídrico del suelo que se corresponde con una condición de ausencia de déficit o déficit leve, y desde el envero a la maduración, un descenso del potencial hídrico del suelo hasta valores que se corresponden con un déficit leve o moderado. Rediseñado a partir de Ojeda *et al.*, 2003

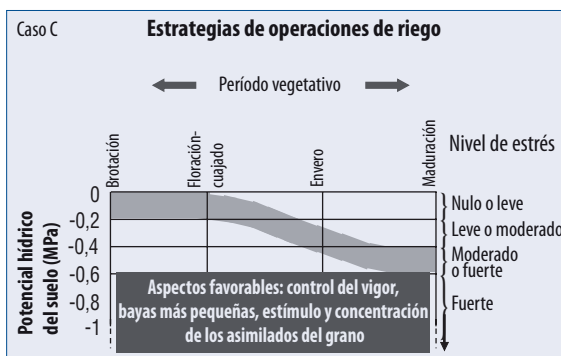


Fig. 22 Una hipótesis de estrategia de riego del viñedo (caso C) que plantea, desde la brotación al envero, el mantenimiento de un nivel de potencial hídrico del suelo que se corresponde con una evolución gradual de déficit nulo o leve a déficit moderado, y, desde el envero a la maduración, un ulterior descenso progresivo del potencial hídrico del suelo hasta valores que se corresponden con un déficit fuerte. Rediseñado a partir de Ojeda *et al.*, 2003

excesivo del vigor. Por tanto, en añadas húmedas, la óptima capacidad de penetración y la poca retención hídrica del estrato superior evitan situaciones prolongadas de saturación. En cambio, en añadas secas, se da un déficit moderado, pero éste no afecta demasiado al crecimiento de la canopia ni reduce de forma sustancial la eficiencia de los intercambios gaseosos. En tales circunstancias, no resulta sorprendente comprobar que la superficie del terreno parece extremadamente seca pero las hojas presentan un aspecto general normal sin síntomas manifiestos de estrés severo.

II.11.7. La gestión de la aportación de riego: ¿cómo reponer el agua?

Todas las técnicas que plantean una estrategia de déficit hídrico "controlado" en la vid parten del principio fundamental de devolver sólo una fracción de la cantidad de agua que se pierde con la evapotranspiración, a la vez que buscan:

- un control del crecimiento vegetativo y, con él, de los inconvenientes que pueden derivarse de la formación de canopias demasiado densas (microclima lumínico inadecuado de los racimos, condiciones que favorecen la aparición de enfermedades fúngicas);
- un control de la producción, basado principalmente en la reducción del tamaño de la baya;
- una mejora de la calidad del producto que se deriva, directa o indirectamente, de la "corrección" de los factores a y b;

- una mejor eficiencia en el uso del agua de riego, normalmente expresada por la relación entre materia seca producida y volumen de agua empleada, frente a estrategias de riego sin limitación hídrica.

En los últimos tiempos, la investigación vitícola se ha encargado de consolidar 2 formas principales de llevar a cabo el RDC; la primera, más tradicional, simplemente establece la tasa de ETe que hay que reponer y deja a los emisores, al tipo de textura del terreno, y a la frecuencia y duración del turno el encargo de definir la dinámica de infiltración del agua a lo largo del perfil y, con ello, el porcentaje de raíces que se encuentran en suelo húmedo o seco. La segunda, propuesta por las investigaciones australianas y conocida universalmente como PRD (Partial Root Drying) plantea en cambio (Fig. 23) una localización específica de la aportación de riego que, mediante un sistema de doble tubería colocada a lo largo del eje de la hilera, tiende a mantener una cara de la fila sin regar, concentrando la emisión sobre la otra. Además, para lograr una mayor eficiencia del sistema, los 2 lados (el húmedo y el seco) se alternan de forma periódica.

El segundo principio podría ser más ventajoso que el primero desde el punto de vista fisiológico porque permite tener la certeza de que siempre habrá una porción de las raíces en terreno seco que servirían de sensor para la síntesis de ácido abscísico (ABA). Éste, derivado hacia la parte aérea, actuaría a nivel estomático provocando el cierre "parcial y controlado" de los estomas, lo que evitaría castigar en exceso la actividad fotosintética, y reduciría de forma considerable la pérdida por transpiración. Es decir, mediante la técnica de PRD, se lograría un incremento

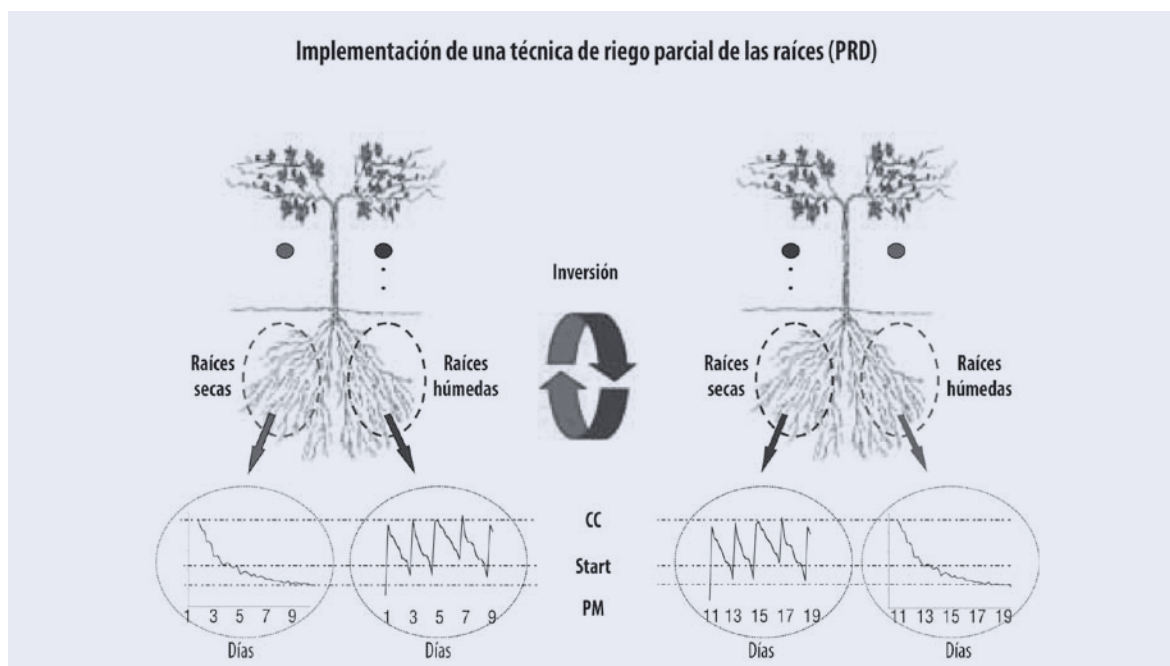


Fig. 23 Esquema descriptivo de una de las posibles aplicaciones de la técnica de riego parcial del sistema radicular. Los 2 lados de la hilera se gestionan de forma alternativa con y sin riego.

CC = capacidad hídrica de campo, PM = punto de marchitez. Cortesía de Peter Dry.

Tabla 7

Este esquema resume las posibles ventajas y desventajas que una técnica de riego basada en el enterramiento de los laterales portagoteros puede tener frente a sistemas de microirrigación en superficie. En la mayoría de los casos, los laterales se colocan aprox. a 15-20 cm de profundidad y separados 15-20 cm del eje de la hilera. Detalles más técnicos sobre subirrigación del viñedo pueden hallarse en Biasi *et al.*, 2000.

Ventajas	Desventajas
Ausencia total de obstáculos para la mecanización del viñedo	Posible obturación de los goteros por partículas terrosas (superable utilizando válvulas de alivio apropiadas)
Ausencia o importante descenso de pérdidas hídricas por evaporación superficial del suelo	Posible obturación de los goteros por intrusión de las raíces (superable mediante lavado con Trifluralin o manteniendo turnos de riego más seguidos)
Mayores facilidades para realizar una fertilización localizada en las zonas de suelo donde se concentran las raíces	Posibles daños causados por la fauna del subsuelo (topos, ratas del agua, etc.)
Colocación completamente mecanizada con las ventajas de rapidez que conlleva	Dificultad para comprobar rápidamente si uno de los tramos del lateral enterrado ha dejado de funcionar
Menos posibilidades de que el sistema de riego sufra actos vandálicos o robos con máquinas operadoras de diferente tipo	Aportación hídrica insuficiente para las vides recién plantadas o jóvenes si la tubería no está lo suficientemente cerca del eje de la hilera
Un menor desarrollo de las malas hierbas, especialmente con tuberías enterradas a una cierta profundidad	Dificultad para identificar la profundidad óptima de instalación según las características de cada suelo ya que los ensayos experimentales son todavía insuficientes
Beneficios estéticos debidos a la ausencia de tuberías de conducción del agua	Dificultad para llevar a cabo laboreos en el caso de tuberías en superficie

ágil de la eficiencia en el uso del agua (relación fotosíntesis/transpiración) que constituye uno de los indicadores más fiables de la eficiencia de una estrategia de riego.

Para terminar, las modalidades de reposición hídrica también atañen a los distintos tipos de equipos de riego. Las características técnicas de éstos (materiales, operaciones de ubicación y mantenimiento, etc.) quedan fuera de los objetivos de este capítulo y, para ello, se remite a publicaciones específicas.

Aun así, hace tiempo que en la viticultura hay un interés creciente por las técnicas de microirrigación

(volúmenes de riego bajos asociados a turnos breves), fomentado por la necesidad de rentabilizar los cada vez más escasos recursos hídricos (Fig. 24). Hoy en día, de hecho, la elección está cada vez más restringida a sistemas de aspersión a pie de planta con microirrigadores y, con casi total seguridad, en un futuro –que ya es presente en países con una mayor tradición de riego– la alternativa más autorizada será la subirrigación con tubería enterrada (Fig. 25). En este sentido, consideramos que el lector agradecerá el esquema (Tab. 7) donde se resumen las ventajas y las desventajas de esta técnica, comparada con la microirrigación por aspersión.



Fig. 24 Detalle de un microaspersor de riego por goteo en superficie. Es probable que, en un futuro, la subirrigación con tubería enterrada se convierta en la principal alternativa a este sistema de riego. Foto S. Poni



Fig. 25 Un detalle de la operación de la colocación mecanizada de la tubería de subirrigación. Foto P. Gasparinetti

II.11.8. Referencias bibliográficas

- ANCONELLI S., BATTILANI A. (2000)** - Use of leaf temperature to evaluate grapevine (*Vitis vinifera* L.) yield and quality response to irrigation. *Proc. 3rd Intern. Symp. on Irrigation of Hort. Crops. Acta Hort.* 537, 407-414.
- BATTILANI A. (2000)** - Application of the regulated deficit irrigation to grapevines (*Vitis vinifera* L.) in a subhumid area. *Proc. 3rd Intern. Symp. on Irrigation of Hort. Crops. Acta Hort.* 537, 887-894.
- BEHBOUDIAN M. H., SINGH Z. (2001)** - Water relations and irrigation scheduling in grapevine. *Horticultural Reviews*, 27:189-225.
- BIASI W., PERATONER C., GASPARINETTI P., MASCHIO T., TEOT G. (2000)** - Ali gocciolanti interrater per una moderna gestione del vigneto. *L'Informatore Agrario* 47: 85-94.
- BRAUN P., SCHMID J. (1999a)** - Sap flow measurements in grapevines (*Vitis vinifera* L.) 1. *Stem morphology and use of the heat balance method. Plant and Soil* 215, 39-45.
- BRAUN P., SCHMID J. (1999b)** - Sap flow measurements in grapevines (*Vitis vinifera* L.) 2. *Granier measurements. Plant and Soil* 215, 47-55.
- DRY P. R., DÜRING H., BOTTING B. G. (1996)** - Effects of partial root-zone drying on grapevine vigour, yield composition of fruit and use of water. In: C. S. STOKLEY, A. N. SAS, R.
- S. JOHNSTONE, T. H. LEE (Eds.) - Proc. 9th Austr. Wine Ind. Tech. Conf. 128-131**, Adelaide, Australia.
- DRY P. R., LOVEYS B. R. (1998)** - Factors influencing grapevine vigour and the potential for control with partial rootzone drying. *Austr. J. Grape and Wine Res.* 4: 140-148.
- DRY P. R., LOVEYS B. R., MCCARTHY M. G., STOLL M. (2001)** - Strategic irrigation management in Australian vineyards. 12èmes Journées GESCO. *Journée professionnelle: «Gestion de l'eau dans le vignoble»*, Montpellier 3-7 Juillet, pp. 45-61.
- DURING H. (1992)** - Low air humidity cause non-uniform stomatal closure in heterobaric leaves of *Vitis* species. *Vitis* 31, 1-7.
- DURING H., LOVEYS B. R. (1996)** - Stomatal patchiness of field-grown Sultana leaves: Diurnal changes and light effect. *Vitis* 35 (1), 7-10.
- FLEXAS J., ESCALONA J. M., MEDRANO H. (1999)** - Water stress induces different levels of photosynthesis and electron transport rate regulation in grapevines. *Plant Cell and Environ.* 22: 39-48.
- GOODWIN I., MACRAE I. (1990)** - Regulated deficit irrigation on Cabernet Sauvignon grapevines. *ANZ Wine Industry J.* 5, 131-133.
- GOODWIN I., JERIE P. (1992)** - Regulated deficit irrigation: from concept to practice. *Advances in vineyard irrigation. Aust. NZ Wine Ind. J.* 258-261
- GRANIER A. (1985)** - Une nouvelle methode pour la mesure du flux de seve brute dans le troncs des arbres. *Annales Sciences Forestières* 42, 193-200.
- GREENSPAN M. D., SHACKEL K. A., MATTHEWS M. A. (1992)** - Developmental control of the diurnal water budget of the grape berry. *IV Intern. Symp. On Grapevine Physiology, abstract V.01. Torino, Italy.*
- GUILIONI L., LACROUTE J., QUERAL C., RIOU CH. (2001)** - Utilisation de la temperature des feuilles comme indicateur de deficit hydrique chez la vigne. 12èmes Journées Gesco, Montpellier 3 au 7 Juillet 2001, pp. 57-62.
- HUNTER J. J. (1998)** - Plant spacing implications for grafted grapevine I. Soil characteristics, root growth, dry matter partitioning, dry matter composition and soil utilisation. *S. Afr. J. Enol. Vitic.* 19, 25-34.
- IDSO S. B., JACKSON R. D., PINTER P. J., REGINATO R. J., HATFIELD J. L. (1981)** - Normalizing the stress-degree-day parameter for environmental variability. *Agric. Met.* 24, 45-55.
- JACKSON D. I., LOMBARD P.B. (1993)** - Environmental and management practices affecting grape composition and wine quality - a review. *Am. J. Enol. Vitic.* 44: 409-430.
- JONES H. G. (1992)** - Plants and microclimate. Cambridge University Press, pp.428.
- JONES H. G. (1999)** - Use of infrared thermometry for estimation of stomatal conductance as a possible aid to irrigation scheduling. *Agric. For. Met.* 95, 139-149.
- JONES P. D., PARKER D. E., OSBORN T. J., BRIFFA, K. R. (2000)** - «Global and hemispheric temperature anomalies - Land and marine instrumental records». In: *Trends: A compendium of data on global change. Carbon Dioxide Information Analysis Center, Oak Ridge National Laboratory, U.S. Department of Energy, Oak Ridge, Tenn. USA.*

LASCANO R. J., BAUMHARDT R. L., LIPE W. N. (1992) - Measurement of water flow in young grapevines using the stem heat balance method. *Amer. J. Enol. Vitic.* 43,159-165.

LOVISOLO C., SCHUBERT A., LUBRACO G. (2000) - Modification of the hydraulic conductivity in *Vitis vinifera* L. by manipulating shoot orientation. *Proc. 3rd Intern. Symp. on Irrigation of Hort. Crops. Acta Hort.* 537, 359-366.

MATTHEWS M. A., ANDERSON M. M., SCHULTZ H. R. (1987) - Phenological and growth responses to early and late-season water deficits in Cabernet franc. *Vitis* 26, 147-160.

MCCARTHY M. G., CIRAMI R. M., MCCLLOUD P. (1993) - Vine and fruit response to supplementary irrigation and canopy management. *South Afr. J. Enol. and Vitic.* 4, 67-76.

MCCARTHY M. G. (1997) - The effect of transient water deficit on berry development of cv. Shiraz (*Vitis vinifera*) - *Austr. J. Grape and Wine Res.* 3, 102-108.

NATALIS., XILOYANNIS C., CASTAGNETO M. (1985) - Effect of soil water content on leaf water potential and stomatal resistance of grapevine (*Vitis vinifera*) grafted on different rootstocks. *Acta Hort.* 171, 331-340.

OJEDA H., DELOIRE A., CARBONNEAU A. (2003) - Determinacion y control del estado hidrico de la vid: efectos morfologicos y fisiologicos de la restriccion hidrica en vides. *Proc. Curso Internacional de Vitivinicultura, Neuquen 26-29 August, section 2.3.*

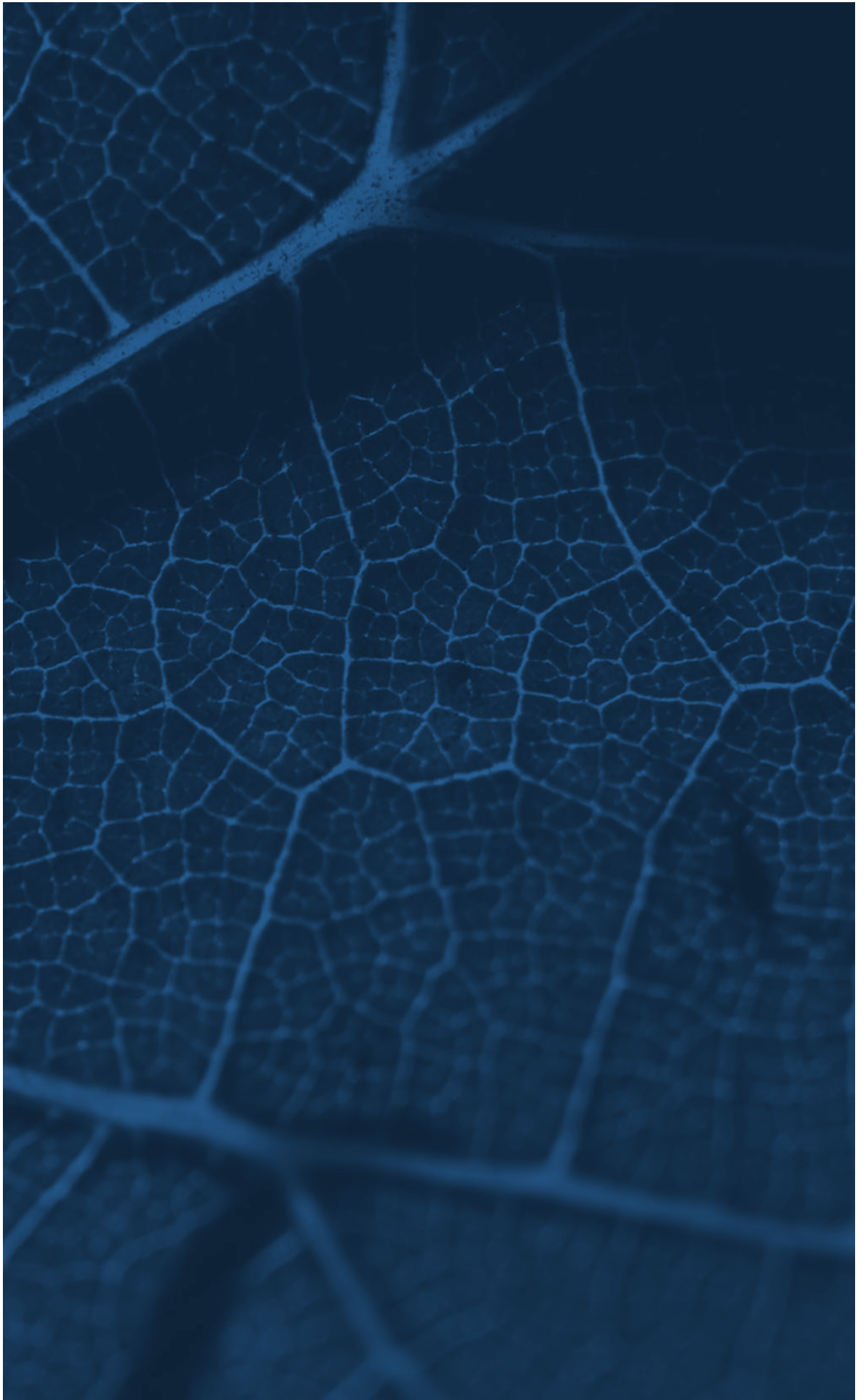
PITACCO A., GIULIVO C., IACONO F. (2000) - Controlling vineyard energy balance partition by sprinkling irrigation. *Proc. 3rd Intern. Symp. on Irrigation of Hort. Crops. Acta Hort.* 537, 121-129.

PONI S., LAKSO A. N., TURNER J. R., MELIOUS R. E. (1993) - The effects of pre- and post-veraison water stress on growth and physiology of potted Pinot noir grapevines at varying crop levels. *Vitis* 32, 207-214.

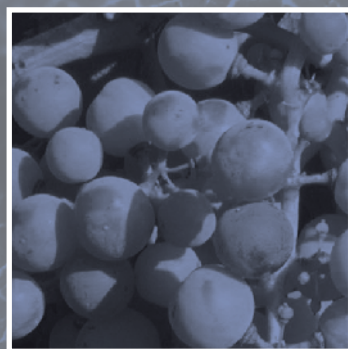
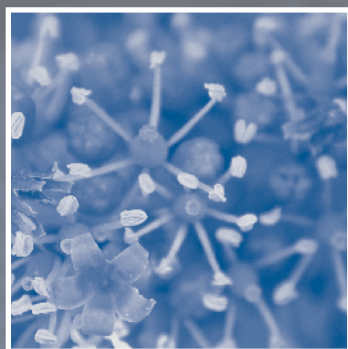
PONI S., LAKSO A. N., TURNER J. R., MELIOUS R. E. (1994) - Interactions of crop level and late season water stress on growth and physiology of field grown Concord grapevines. *Am. J. Enol. Vitic.* 45: 252-258.

PONI S., REBUCCI B., SCANNAVINI M. (2000) - Una ricognizione bibliografica su: tecnica colturale, miglioramento genetico e difesa fitosanitaria: Irrigazione. *Vignevini* 10, 7-13.





II.12. Estrategias de gestión del riego en viñedos de vinificación



185	II.12.1. Objetivos
186	II.12.2. Efectos del riego en la vid
190	II.12.3. Estrategias de riego
199	II.12.4. Aspectos prácticos recomendables
199	II.12.5. Ejemplos aplicados de estrategias de riego
200	II.12.6. Referencias bibliográficas



José Ramón LISSARRAGUE
Pilar BAEZA
Patricia SÁNCHEZ DE MIGUEL
Joan GIRONA
Universidad Politécnica de Madrid

Una estrategia de riego es el conjunto de decisiones que van a determinar la cantidad y momento de aplicación del agua de riego.

Antes de decidir una estrategia de riego es necesario fijar en cada finca o parcela unos objetivos cuantitativos y cualitativos de la cosecha así como conocer la respuesta de la planta al exceso/déficit hídrico en cada momento del ciclo. La consecución del objetivo final es muy difícil si no se fijan objetivos parciales y evaluables en determinados intervalos fenológicos, de forma que se garantice el seguimiento del proceso en cada paso hasta su meta.

II.12.1. Objetivos

Los objetivos a satisfacer por una estrategia de riego pueden venir marcados por:

- la estrategia comercial de la empresa, por ejemplo, elaborar determinados tipos de vinos o dirigir sus productos a un determinado segmento del mercado.
- los condicionantes de la explotación vitícola, como por ejemplo, tener asignada una dotación de agua fija y restringida, bien por cantidad o por tiempo.
- condicionantes legales que limiten los rendimientos por superficie o bien, limiten el periodo de riego, o ambas cosas, tal es el caso de algunos Reglamentos de Denominaciones de Origen.

Desde el punto de vista de la adaptación de la planta al medio y, siempre refiriéndonos a situaciones generales, los objetivos agronómicos a conseguir en cada etapa del ciclo anual pueden ser los siguientes:

a) Objetivos desde brotación a tamaño guisante

- Conseguir una longitud del entrenudo medio entre 7-10 cm y unas 12-15 hojas por pámpano.
- Tener completamente desarrollado la canopia hacia tamaño guisante (diámetro de la baya 7

mm), justo antes de iniciar la fase de maduración de la baya (fase III de desarrollo del fruto).

- Atenuar o parar crecimiento vegetativo antes de enero
- Influir sobre el tamaño de las bayas ya sea favoreciendo un tamaño grande o por el contrario limitando su tamaño.
- Atenuar la senescencia foliar
- Favorecer la fertilidad de yemas que llevarán la cosecha de la siguiente campaña
- Favorecer la renovación de raíces.

b) Objetivos desde tamaño guisante a vendimia

- Alcanzar los rendimientos prefijados.
- Limitar el desarrollo de hojas nuevas procedentes de la actividad del meristemo terminal del pámpano principal o de la brotación de anticipados.
- Alargar la fase adulta de las hojas lo más posible, para mantener niveles altos de fotosíntesis retrasando su envejecimiento hasta después de vendimia.
- Limitar el desarrollo del tamaño de la baya.
- Garantizar la acumulación de azúcares en la baya y la completa maduración de éstas.
- Limitar la pérdida de superficie foliar por defoliación.
- Favorecer el agostamiento

c) Objetivos de vendimia a caída de hoja

- Favorecer la acumulación de sustancias de reserva hasta la caída de las hojas.
- Favorecer la renovación de raíces.



Las estrategias de riego y el resto de las técnicas de cultivo tendrán que adecuarse a cada situación ecológica y a los objetivos propuestos.

II.12.2. Efectos del riego en la vid

La decisión de cuándo y cuánto se ha de regar requiere un conocimiento previo de los factores que afectan al estado hídrico de la planta y de su respuesta a través de los efectos cuantitativos y cualitativos. Sólo mediante un conocimiento de los efectos se podrá dirigir y gestionar bien el riego para la obtención de rendimientos uniformes en el tiempo y la consecución de las características cualitativas deseadas.

La necesidad del riego aparece cuando la demanda evaporativa de la atmósfera supera a la cantidad de agua que la planta puede absorber por las raíces, provocando respuestas en el crecimiento y en la fisiología de la planta frente al déficit hídrico no deseado.

II.12.2.1 Efectos del exceso/defecto de agua desde brotación hasta tamaño guisante

Esta etapa se caracteriza porque la planta prioriza desarrollo vegetativo frente a desarrollo fructífero. Durante esta fase no es frecuente la falta de agua pues las lluvias invernales y primaverales garantizan el abastecimiento del perfil del suelo, de manera que la brotación de la vid y los primeros estados de desarrollo se producen en condiciones de contenido de agua en el suelo próximas a capacidad de campo. Por otro lado, al inicio del ciclo anual el desarrollo foliar es aún pequeño y dada la marcha de las temperaturas en este periodo y el régimen de lluvias, la demanda atmosférica es aún baja; todo ello hace que el consumo de agua sea bajo y no sea frecuente la falta de agua, salvo esporádicamente, en años anormalmente secos. A pesar de todo ello, la aplicación de agua de riego en esta fase casi siempre se traduce en un incremento del crecimiento vegetativo y favorece el cuajado y crecimiento de las bayas.

Foto 1

Brotación irregular y falta de desarrollo vegetativo por déficit hídrico en fase de brotación-floración



La falta de agua en esta fase es responsable de una brotación irregular, crecimiento muy ralentizado del pámpano e incluso de falta de desarrollo vegetativo (Foto 1).

Este escaso desarrollo vegetativo va a condicionar la cantidad de superficie foliar que ha de ser garantía de una completa maduración de las bayas y de la acumulación de sustancias de reserva en las partes permanentes de la planta, y sus efectos se reflejarán tanto en el ciclo presente como en el siguiente.

El crecimiento y desarrollo vegetativo son muy sensibles a la falta de agua en el suelo (Figura 1) por lo que es necesario mantener contenidos de agua en el suelo altos, próximos a capacidad de campo o lo que es lo mismo, potencial hídrico de hoja a mediodía solar de -0.6 MPa (Girona et al. 2006) o potencial hídrico antes de amanecer superior a -0.2 MPa (Deloire et al. 2004) para asegurar el crecimiento vegetativo.

Se ha observado distinta sensibilidad varietal frente a la disminución del contenido de agua en el suelo, resultando que unas variedades se autorregulan más que otras. Gómez del Campo et al. (2002, 2003) obtuvieron diferencias en el desarrollo foliar entre variedades al ser sometidas a diferente régimen hídrico; airén generó más materia seca por planta que chardonnay debido al mayor desarrollo foliar, sin embargo, no obtuvieron diferencias intervarietales en la respuesta fotosintética. Schultz (2003) y Medrano et al. (2003) encontraron distinta respuesta de adaptación al estrés hídrico entre variedades y la clasificaron considerando 2 tipos de comportamiento: las variedades isohídricas, como garnacha tinta, cuando alcanzan un potencial hídrico foliar "umbral" responden manteniendo este potencial foliar, cierran estomas, ralentizando su actividad y economizan agua; mientras que las anisohídricas, como shiraz, siguen

Figura 1

Respuesta del crecimiento del pámpano a medida que disminuye la disponibilidad hídrica del suelo expresada a través del potencial hídrico antes de amanecer (O) y durante la mañana (•) y a mediodía solar (Δ). Datos obtenidos en condiciones de campo durante las campañas 2002 y 2003 en cabernet-sauvignon/S04 en Colmenar de Oreja - Madrid -.

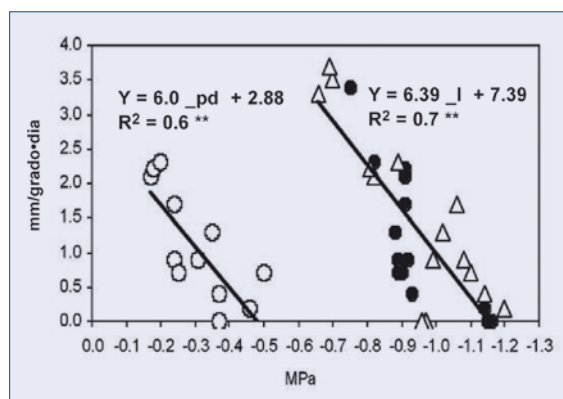
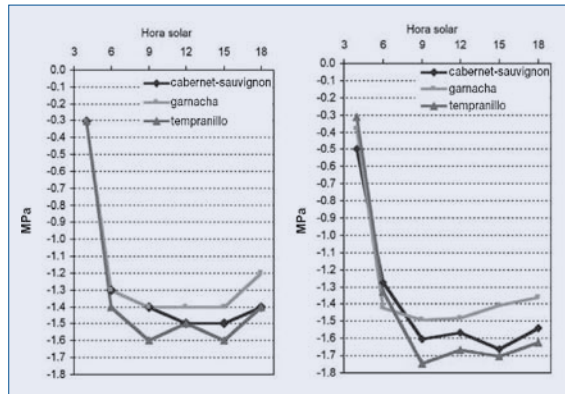


Figura 2
Evolución diaria del potencial hídrico foliar (MPa) de tres cultivares de vid en secano en el mes de septiembre en 1998 (izquierda) y 1999 (derecha) en Madrid.



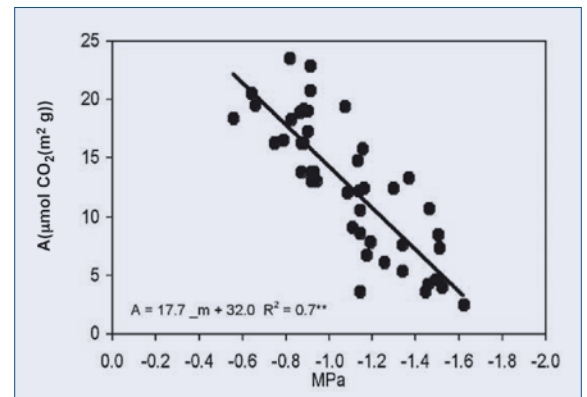
consumiendo agua siempre que la puedan extraer del suelo, es decir, siguen disminuyendo su potencial hídrico foliar mientras haya agua en el suelo, aún a costa de su propia supervivencia (Schultz 2003). En un estudio sobre respuesta varietal al déficit hídrico realizado en Madrid durante 4 años, se observaron diferencias en las tendencias diarias del potencial hídrico en gamacha, tempranillo y cabernet-sauvignon (Figura 2).

En un estado más avanzado de déficit hídrico, la planta responde reduciendo la actividad fotosintética (Kriedemann y Smart 1971, During 1991, landolino 2004, Sánchez de Miguel 2005). Esta merma de capacidad fotosintética de las hojas provoca una mayor dependencia en el tiempo de los pámpanos por las reservas y, si la situación persiste a lo largo del ciclo, se produce un debilitamiento de la cepa.

Un déficit hídrico severo afectará al cuajado del año en curso (Figura 4) y a la iniciación floral de las yemas de ese año, efecto que se visualizará en la siguiente campaña. Bartolomé et al. (1995) obtuvieron un efecto significativo del estrés hídrico en la fertilidad de las yemas pero no en el número de bayas por racimo.

Más frecuentes son los problemas por exceso de agua en esta fase y, sin embargo, los viticultores no les dan suficiente importancia, en parte por la mayor espectacularidad de los efectos de la sequía y en parte, porque sus resultados no se perciben de inmediato, sino en fases posteriores del ciclo, haciendo difícil que se imputen estos efectos a lo que aconteció en la pasada primavera. Uno de los efectos más negativos es un crecimiento vegetativo desmesurado que se traduce tanto en rapidez de crecimiento del pámpano como en una fuerte emisión de nietos. La rapidez de crecimiento provoca entrenudos muy largos y hojas grandes lo que supone que para una misma longitud total de pámpano tengamos menos hojas, muy grandes y muy similares en cuanto a edad a lo largo del pámpa-

Figura 3
Respuesta del crecimiento del pámpano a medida que disminuye la tasa de fotosíntesis neta (A) en cabernet-sauvignon al disminuir la disponibilidad hídrica, medida a través del potencial hídrico foliar (MPa) a las 9:00 horas solares. Datos obtenidos en condiciones de campo durante las campañas 2002, 2003 y 2004 en cabernet-sauvignon/S04 en Colmenar de Oreja – Madrid -.



no. El bajo número de hojas por metro lineal de pámpano, así como la falta de escalonamiento de la edad, produce un envejecimiento casi simultáneo de las hojas del sarmiento, resintiéndose la maduración del racimo en sus últimas fases por falta de hojas adultas. Por otro lado, la caída de hojas grandes provoca una gran pérdida de superficie foliar durante el proceso de envejecimiento, produciendo una pérdida proporcionalmente más cuantiosa para la planta y menos gradual que si la misma superficie foliar estuviera distribuida en hojas más pequeñas de edad escalonada. Independientemente del régimen hídrico existe una predisposición varietal a esta conducta; por ejemplo, cabernet-sauvignon es menos vegetativa que tempranillo en condiciones de regadío (Figura 5). Las diferencias estadísticas entre variedades en secano y su ausencia en regadío muestran que el desarrollo vegetativo de cabernet-sauvignon es menos sensible a

Figura 4
Variación de la tasa de fotosíntesis neta (A) en Cabernet-Sauvignon al disminuir la disponibilidad hídrica, medida a través del potencial hídrico foliar (MPa) a las 9:00 horas solares. Datos obtenidos en condiciones de campo durante las campañas 2002, 2003 y 2004 en cabernet-sauvignon/S04 en Colmenar de Oreja – Madrid -.

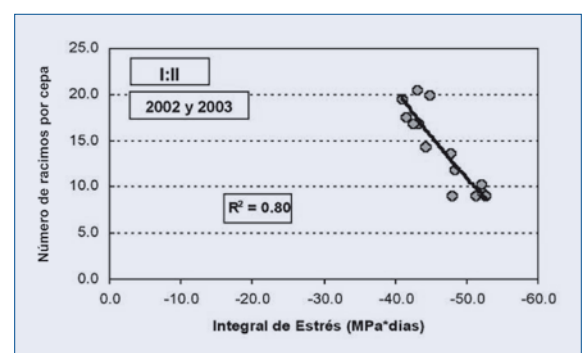
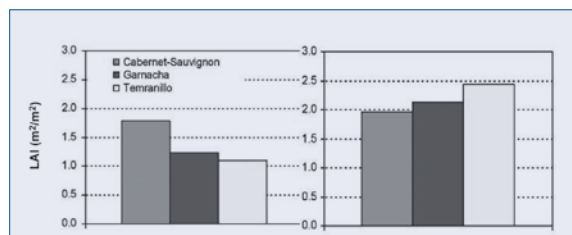


Figura 5

Respuesta varietal de la expresión vegetativa (LAI) a condiciones de secano (izquierda) y de regadío (derecha, $K_c = 0.45$). Se obtuvieron diferencias altamente significativas (para $P < 0.05$) en secano y no-significativas en regadío.**



la disponibilidad de agua en el suelo que garnacha o tempranillo, circunstancia que puede ser ventajosa en regadío pero no así en condiciones de déficit hídrico.

El exceso de desarrollo vegetativo en primavera produce un mayor consumo de agua del suelo, al haber mayor superficie transpirante y acentúa el déficit hídrico en épocas posteriores en las que el agua disponible para planta es escasa, como es durante la maduración de los racimos (Hunter 1998 a y b) e implica mayores costes por despunte. En algunos casos, poco frecuentes, de primaveras anormalmente cálidas, se puede producir una competencia muy fuerte entre la actividad del ápice meristemático del pámpano y la diferenciación floral del racimo, este último detiene su desarrollo pues la planta no es capaz de satisfacer a todos los puntos de demanda con sus reservas y en esta fase prioriza y asegura su propia supervivencia frente a la de la especie. El resultado es un aborto de las inflorescencias conocido con el nombre de filage (Foto 2) en la que están implicados tanto el exceso de agua como las altas temperaturas antes de brotación.

Para paliar los efectos del exceso de agua en primavera se puede recurrir a la regulación del régimen hídrico mediante el manejo de las cubiertas naturales controladas, cubiertas artificiales de autosiembra o bien a las enyerbados temporales (centeno, veza +centeno,

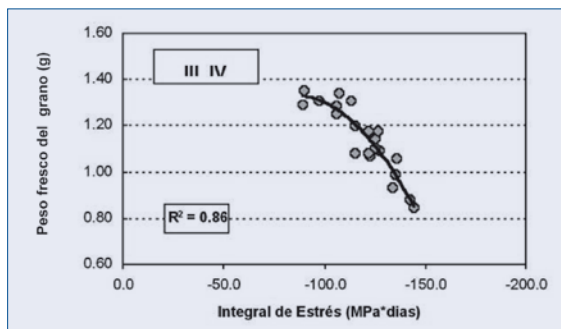
Foto 2

Filage : esbozo de racimo sin desarrollar (círculo) por parada de la diferenciación morfológica de flores por competencia con desarrollo vegetativo entre desborre y brotación.



Figura 6

Relación entre la integral de estrés hídrico en las fases de crecimiento de la baya y el tamaño de la baya a la vendimia en cabernet-sauvignon (Girona 2005)



veza + avena, etc). También se puede regular el desarrollo vegetativo mediante la carga (yemas/cepa) ya que el desarrollo de los pámpanos es inversamente proporcional a su número en la cepa.

II.12.2.2 Efectos del exceso/defecto de agua entre los estados fenológicos tamaño guisante y envero

Durante este periodo queda determinado el número de células que van a formar cada baya (Figura 6) y la elasticidad o capacidad de distensión de la pared celular (Ojeda et al. 2001), por tanto, queda condicionado el tamaño potencial de la baya y el rendimiento de la cosecha. Algunas estrategias de riego tienen como objetivo conseguir una baya pequeña (1.0 – 1.2 g/baya) particularmente cuando se quiere conseguir un vino tinto con una alta concentración antocianica. Al ser este aspecto menos importante en vinos blancos se recomiendan bayas más grandes y un menor déficit hídrico a fin de evitar renunciar a un rendimiento de cosecha. Ojeda et al. (2002) obtuvieron un menor contenido de proantocianos (PA) en el tratamiento con más restricción de agua quedando inhibida la biosíntesis posterior de antocianos.

Al igual que en la fase anterior, la disminución de la disponibilidad hídrica afecta a la tasa de fotosíntesis y acelera el envejecimiento de la hoja (Figura 7). Durante esta fase interesa tener controlado el desarrollado

Figura 7

Evolución de la fotosíntesis neta de la hoja en tres regímenes hídricos a lo largo de la estación. Datos obtenidos en condiciones de campo durante la campaña 2003 en cabernet-sauvignon/S04 en Colmenar de Oreja – Madrid -.

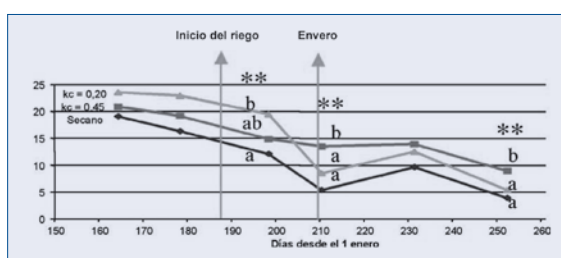
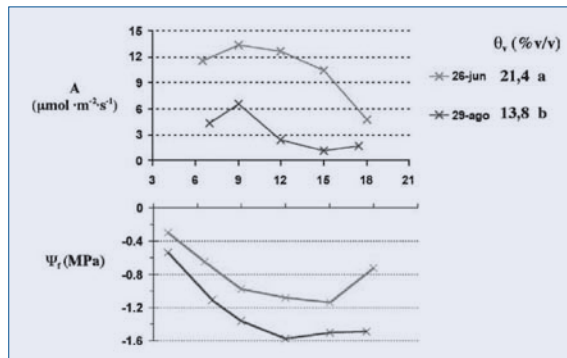


Figura 8
Evolución diaria de la fotosíntesis neta (A) y del potencial hídrico foliar (Ψ_f) en un viñedo de tempranillo/110R en seco. (Cuevas, 2001).



vegetativo sin que la fotosíntesis se vea afectada por lo que será necesario restringir el agua a la planta a niveles de potencial hídrico foliar a mediodía solar y antes de amanecer a de -1.2 MPa y -0.4 MPa (Deloire et al. 2004) respectivamente.

El exceso de agua en esta fase produce un crecimiento vegetativo continuo compitiendo con los racimos y con la inducción floral de las yemas del año en curso por lo que puede afectar a la tasa de cuajado y a la fertilidad de yemas que se manifestará en la siguiente campaña. Los efectos sobre la fertilidad son debidos tanto a la competencia por los productos de la fotosíntesis como a una falta de iluminación favorecida por un exceso de desarrollo vegetativo (Buttrose 1974, Smart et al 1982).

II.12.2.3 Efectos del exceso/defecto de agua durante la maduración de las bayas

Durante esta fase la disponibilidad hídrica es el factor más determinante de la maduración de la baya. El déficit hídrico es el responsable de la disminución de las tasas fotosintéticas. En un principio se produce una disminución de la apertura estomática y por consiguiente de la fotosíntesis; si las condiciones de

Figura 9
Evolución del peso de la baya en 2003 en un viñedo de cv cabernet-sauvignon/S04 en la finca El Socorro (Colmenar de Oreja, Madrid) con 3 regímenes hídricos: T1 = seco, T2 = $0.4 \cdot E_{To}$ y T3 = $0.2 \cdot E_{To}$

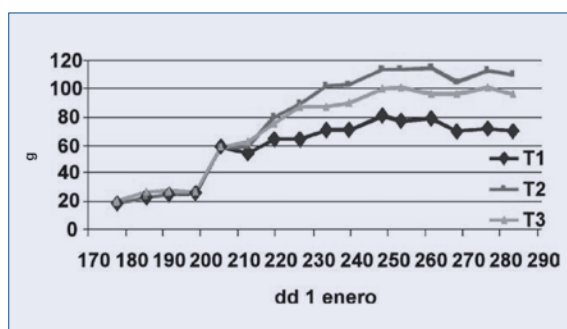
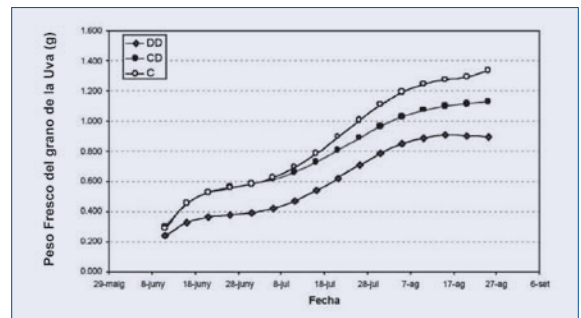


Figura 10
Evolución estacional del peso fresco de la baya en función del tratamiento de riego aplicado (C: regado para mantener un Ψ_h md superior a -0.8 MPa durante toda campaña, CD, regado igual que C hasta enero y de aquí hasta vendimia para mantener Ψ_h md superiores a -1.2 MPa, y DD: regado para mantener un Ψ_h md superior a -1.2 MPa durante toda campaña) (Girona et al. 2006) (Ψ_h md: Potencial hídrico de hoja medido al mediodía solar).



déficit hídrico permanecen, los estomas se cierran para evitar excesivas pérdidas de agua por transpiración, viéndose reducida fuertemente la fotosíntesis a lo largo del día (Figura 8).

La falta de agua durante la fase III de desarrollo de la baya produce menor concentración de azúcares en casos de fuerte déficit hídrico (Ojeda et al. 2002) y un menor peso de la baya (Esteban et al. 2001, García-Escudero 1991, Ojeda et al. 2002, Peterlunger et al. 2005, Petrie et al. 2004, Girona 2005, Girona et al. 2006) (Figuras 9 y 10), una menor acumulación de azúcares por baya (Figura 11) y una ralentización de la maduración, aunque no suelen encontrarse diferencias en contenido de azúcares cuando se expresa como concentración de azúcar por L de mosto (Esteban et al. 1999, 2001 y 2002, Myburgh 2003 a y b).

Figura 11
Evolución del contenido de glucosa y fructosa, en g/L de mosto y g/baya, en un viñedo de cv tempranillo/110R bajo 2 regímenes hídricos (Esteban et al. 1999). En general, la acidez total aumenta en condiciones de regadío, debido principalmente al incremento de ácido málico, y el pH disminuye (García-Escudero 1991, Bartolomé et al. 1995, Esteban et al. 1999, 2002)

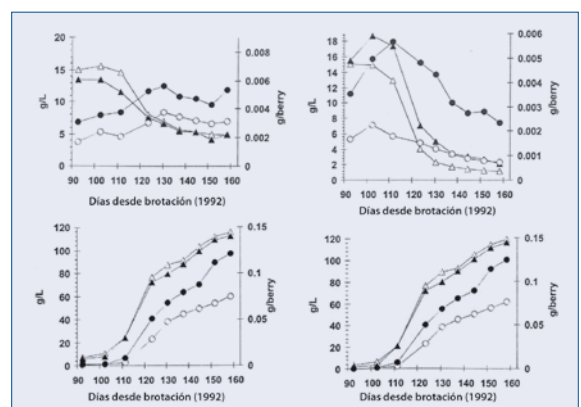


Tabla 1
Composición fenólica de la uva en vendimia

	IPT	ANTOCIANOS TOTALES (MG·L ⁻¹)	ANTOCIANOS EXTRAÍBLES (MG·L ⁻¹)
T0	60	1401	775 b
T20	64	1472	816 b
T45	58	1473	954 a
Sig.	ns	ns	*

*Datos obtenidos en condiciones de campo durante la campaña 2005 en cabernet-sauvignon/SO₄ en la finca El Socorro (Colmenar de Oreja, Madrid). IPT: índice de polifenoles totales. ns, *, **: no significativo, significativo para p≤0.05 y significativo para p≤0.01, respectivamente. Separación de medias de los diferentes tratamientos mediante el test de Duncan para p≤0.05*

El contenido de antocianos suele ser mayor en mostos procedentes de parcelas con déficit hídrico durante la maduración (Esteban et al. 2001, 2002, Peterlunger et al. 2005, Petrie et al. 2004, Roby y Matthews 2004) (Figura 12) excepto en situaciones extremadamente secas (Tabla 1), como la campaña 2005 (Junquera et al. 2006). Esta menor concentración de antocianos en regadío es resultado tanto de un efecto dilución (Figura 12) a consecuencia del aumento del tamaño de la baya debido al riego (Figura 13), como a la diferente respuesta de multiplicación y crecimiento entre las células del epicarpio – hollejo - y las del mesocarpio – pulpa – frente a la disponibilidad hídrica (Roby et al. 2004). Ojeda et al. (2002) observaron que el estado de desarrollo de la baya en el momento en que se produce el déficit hídrico tiene consecuencias en la posterior evolución del contenido de antocianos y el grado de polimerización de los flavonoides y por tanto en la percepción organoléptica del vino.

los pámpanos frente al desarrollo de las estructuras fructíferas. Las reservas de la planta – los aportes de la fotosíntesis actual son negativos o muy pequeños pues las hojas son aún órganos consumidores en formación – se dirigen hacia el crecimiento de los esbozos de tallos y hojas y neoformación de nudos y entrenudos. La falta de agua se reflejará en una ralentización del desarrollo vegetativo de forma que la extremidad del pámpano pasa de estar arqueada o combada a mantenerse erguida, con hojas nuevas, pero no tan separadas unas de otras en la extremidad, se produce una parada en la emisión de hojas nuevas, ausencia de gradación en el tamaño de las hojas al acercarnos al ápice y finalmente, desecación del ápice que aunque puede estar presente ya no es funcional y terminará por caerse (Foto 3).

II.12.3. Estrategias de riego

II.12.3.1. Determinación de la fecha de inicio de riego

La primera respuesta de la planta ante la mínima señal de agotamiento de agua en el suelo es ralentizar la multiplicación celular. Durante el periodo brotación-floración la planta prioriza el desarrollo de

La metodología a seguir para determinar la velocidad de crecimiento del pámpano y el comienzo de la campaña de riego es una adaptación de la propuesta por Hardie y Martin (2000). Aproximadamente cuando el pámpano tiene 3-5 hojas desplegadas se marcan en cada parcela objeto de estudio unos 10 pámpanos representativos del comportamiento medio. Semanalmente se mide su longitud con una cinta métrica flexible. La velocidad de crecimiento del pámpano entre 2 fechas dadas vendrá dada por el incremento de crecimiento por día entre el número de días del intervalo (cm/día). Se recomienda, siempre que se

Figura 12

Evolución estacional del contenido de antocianos expresado por peso de baya o por baya en cv tempranillo/110R en Madrid (Esteban et al. 2001).

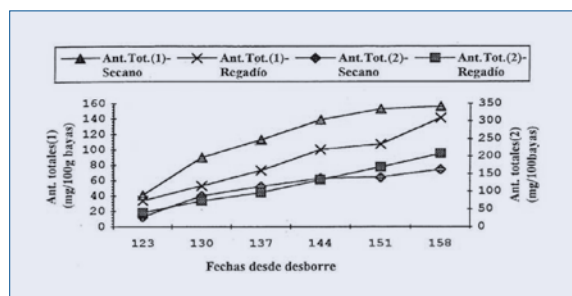


Figura 13

Relación entre los antocianos extraíbles y el peso de 100 uvas (tamaño medio del grano) a la vendimia en cabernet-sauvignon (Girona 2005).

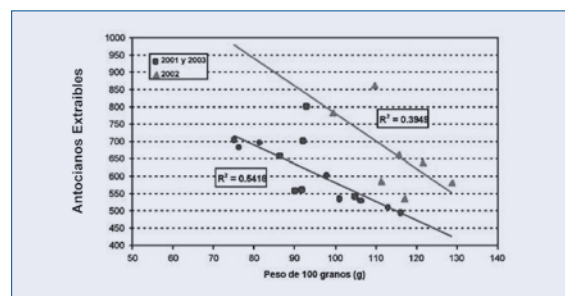
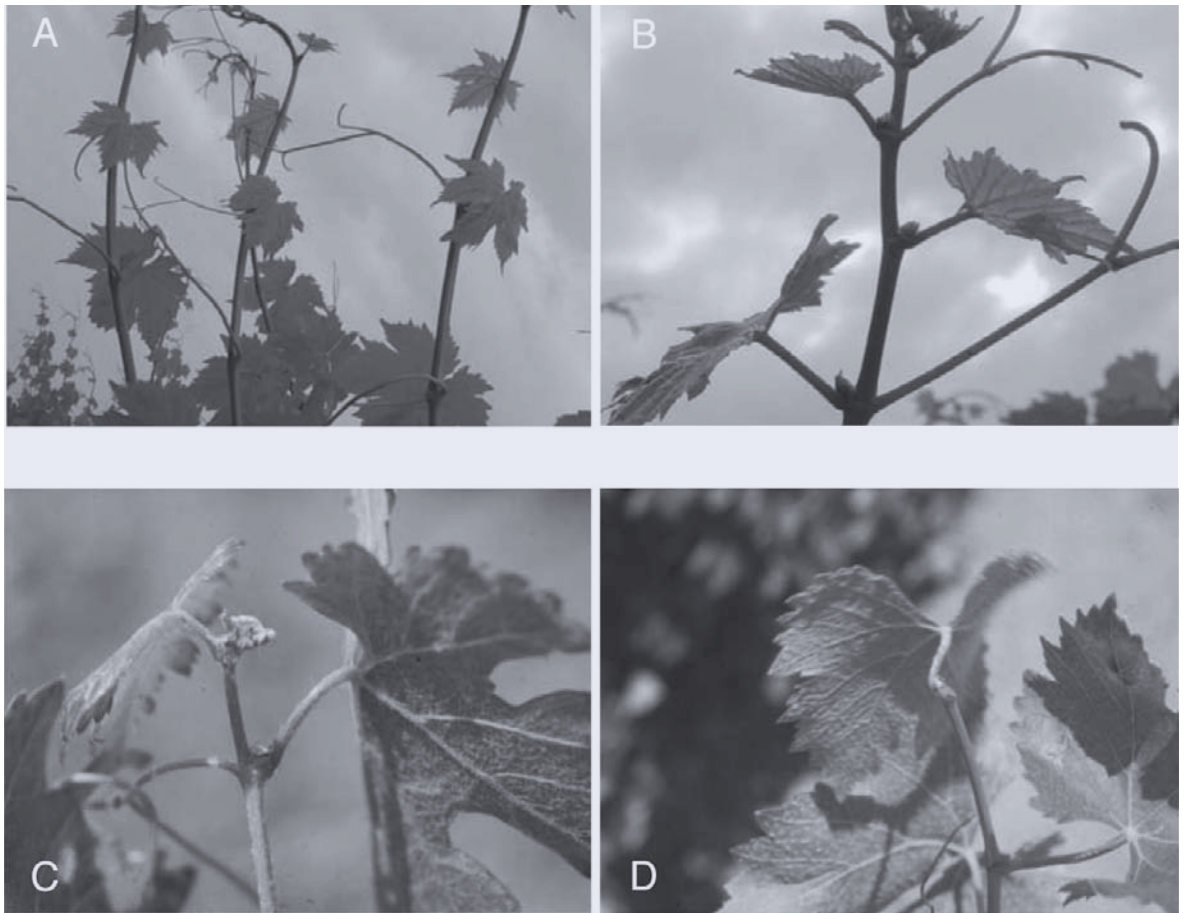


Foto 3

Estados de crecimiento del ápice vegetativo en crecimiento activo (A), ralentización del crecimiento (B), parada (C) y caída (D).



pueda, expresarlo como incremento de longitud por cada unidad de calor acumulada (mm/grado-día). Por ejemplo en la Figura 14, si atendemos a la velocidad expresada en cm/día (derecha) se concluirá erróneamente que la velocidad máxima de crecimiento se produce el día 164 - 13 de Junio - cuando realmente sucede 2 semanas antes, cuando se acumularon 250 día-grado, segunda fecha de control coincidente con el 30 de Mayo.

Cuando la velocidad de crecimiento del pámpano entre 2 fechas consecutivas decrezca será el momento de analizar si está toda la canopia desarrollada y queremos detener el desarrollo de los pámpanos retrasando el riego hasta que la velocidad de crecimiento sea cero, o si falta por completar el desarrollo total de la canopia, en cuyo caso, el comienzo del riego no puede dilatarse más en el tiempo.

Otros parámetros que sirven para determinar el comienzo del riego son las medidas del potencial hídrico foliar antes de amanecer (Ψ_{aa}) o durante la mañana (Ψ) así como mediante el control del potencial matricial del suelo. Según nuestra experiencia y, coincidiendo con Deloire et al. (2004), cuando ya alcanzan -0.2 MPa se reduce la velocidad de crecimiento del pámpano y también según resultados del equipo de la UPM y Girona et al. (2006) cuando alcanza $-0.7 - 0.8$

Figura 14
Evolución de la velocidad de crecimiento del pámpano expresada en mm/grado-día (izquierda) y cm/día (derecha). Datos tomados en cabernet sauvignon/S04 durante la campaña 2003 en la finca El Socorro (Colmenar de Oreja, Madrid). Cada línea representa la media de 3 pámpanos y cada punto un día de medida.

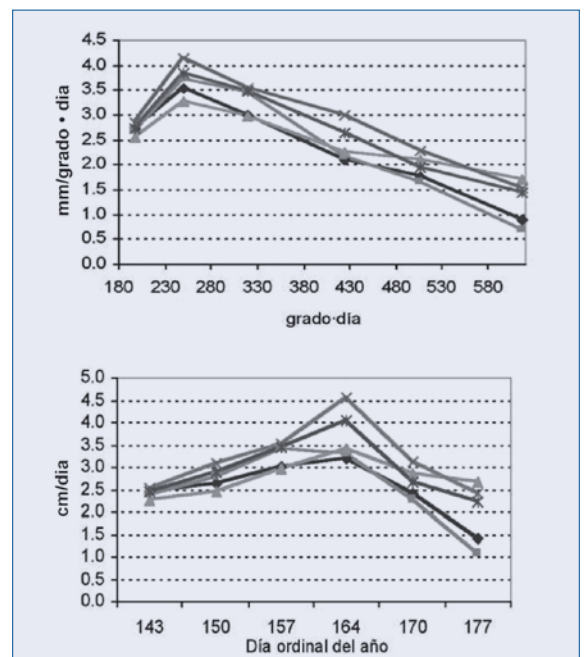
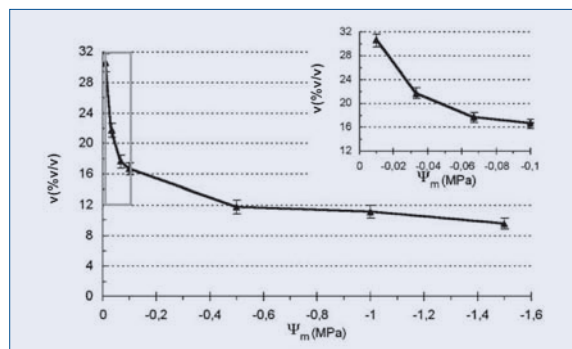


Figura 15

Relación entre el potencial matricial del suelo y su contenido de humedad (Cuevas 2001).



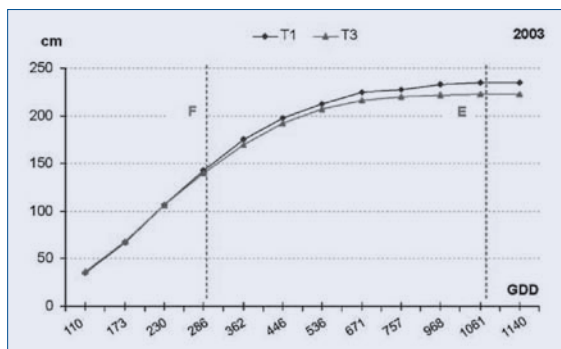
MPa es cuando comienza a ralentizarse el crecimiento del pámpano (Figura 15) y es el momento de estudiar el desarrollo de la canopia y decidir si se ha de iniciar el riego. Williams (2001) recomienda no iniciar el riego antes de que alcance -1.0 MPa.

El contenido volumétrico de agua en el suelo v (%) también se suele utilizar para decidir la fecha de inicio de riego. Se considera que cuando el contenido de agua fácilmente utilizable por la planta (AFU) desciende entre el 40–60 % es momento de iniciar el riego (Figura 15). Hardie y Martin (2000) obtuvieron que cuando el potencial matricial del suelo (Ψ_m) alcanza -0.07 MPa (70 cbar) se comienza a limitar el desarrollo vegetativo.

Cuando el déficit de presión de vapor es excesivamente alto durante el día y hay abundante agua en el suelo pero la planta no es capaz de absorberla y translocarla con la suficiente rapidez para compensar tal demanda, se produce la senescencia precoz y amarillamiento de las hojas basales y posteriormente la pérdida de superficie foliar sin que necesariamente haya parada de crecimiento. En consecuencia, la presencia de hojas basales envejecidas, aún habiendo actividad meristemática del ápice, sería una señal para iniciar el riego. Se produce en suelos muy arcillosos o por el contrario con muy poca capacidad de retención de

Figura 16

Evolución del crecimiento del pámpano (cm) respecto a la integral térmica eficaz (día-grado o GDD) de los tratamientos T1 ($K_c = 0.45$) y T3 ($K_c = 0.2$) en 2003, indicando las fechas de floración (F) y envero (E). El comienzo del riego tuvo lugar cuando se acumularon 757 °C día-grado. Nivel de significación: no significativo, *; $p < 0.05$; **, $p < 0.01$ y separación de medias: $\alpha = 0.05$ (Centeno 2005).



agua en el suelo. En estos casos se recomienda iniciar el riego aún sin haber alcanzado los niveles de agotamiento de agua en el suelo señalados anteriormente a fin de favorecer conductividades hidráulicas altas así como frecuencia de riegos alta (diaria).

En general, en el viñedo español no suele ser frecuente la necesidad de agua antes de floración, salvo excepciones debidas a la climatología de años con inviernos extremadamente secos o viñedos en suelos poco profundos o con muy poca disponibilidad hídrica.

II.12.3.2. Necesidades de agua de la planta

Del total de agua consumida por el viñedo a lo largo de la estación, aproximadamente el 9-14% se consume desde brotación a floración, un 28-31% entre floración y envero y un 55-63% se consume a lo largo de la maduración (Tabla 2).

Cuanto mayor es la cantidad de agua disponible y más uniformemente está distribuida en el tiempo más se desplaza el consumo máximo hacia envero-vendimia,

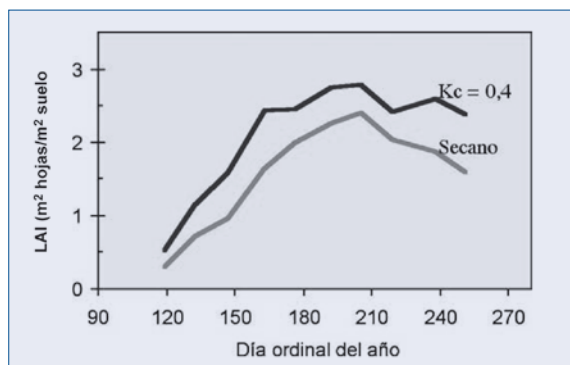
Tabla 2

Distribución estacional (%) del consumo de agua del viñedo con distintos regímenes hídricos en cv tempranillo/110R en Madrid (datos medios calculados 2002 – 2004). Centeno (2005).

	BROTACIÓN	FLORACIÓN	ENVERO	VENDIMIA
$k_c = 0.45$	9.2	27.0	63.8	
$k_c = 0.30$	13.7	27.9	58.4	
$k_c = 0.20$	13.7	29.9	56.4	
secano	13.6	31.1	55.3	

Datos obtenidos en condiciones de campo durante la campaña 2005 en cabernet-sauvignon/SO4 en la finca El Socorro (Colmenar de Oreja, Madrid). IPT: índice de polifenoles totales. ns, *, **: no significativo, significativo para $p \leq 0.05$ y significativo para $p \leq 0.01$, respectivamente. Separación de medias de los diferentes tratamientos mediante el test de Duncan para $p \leq 0.05$

Figura 17
Evolución del desarrollo de la superficie foliar total (m²/m²) a lo largo de la estación para un régimen hídrico con una Kc = 0.4 (azul) y en secano (rojo). (Cuevas 2001).



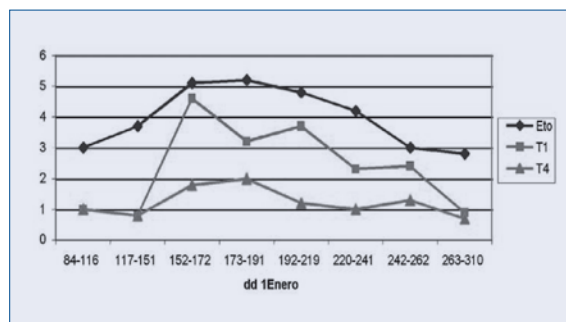
coincidiendo con el máximo desarrollo vegetativo y los máximos de demanda atmosférica (Tabla 2 y Figura 16).

Por lo general, en viñedos situados en zonas de clima mediterráneo, las lluvias de otoño, invierno y gran parte de la primavera son capaces de satisfacer las necesidades de las plantas en estas épocas, por lo que no suele ser frecuente el déficit hídrico desde vendimia hasta final de primavera.

II.12.3.2.1. Método del balance de agua

Una vez determinada la fecha de inicio de riego, el siguiente paso es cuantificar la dosis de agua a aportar, para lo que hay que conocer las necesidades hídricas del viñedo. Para su cálculo se puede recurrir al mé-

Figura 18
Evolución del consumo de agua del viñedo para dos tratamientos de riego: T1 (0.45· ETo) y T4 (secano) en 1996 (Cuevas 2001).



todo del balance de agua. Este método consiste en aplicar una cantidad proporcional (coeficiente de cultivo, Kc) de la evapotranspiración de referencia (ETo) – calculada según método Penman-Monteith (Allen et al. 1998) de modo que garantice la satisfacción de los objetivos cuantitativos y cualitativos de la cosecha.

El coeficiente Kc dependerá de la superficie foliar desarrollada en el viñedo (Figuras 17, 18 y Tabla 3) – que depende a su vez de la altura de la vegetación y de la distancia entre líneas, variedad, portainjerto, cantidad de cosecha, características cualitativas de la misma, etc. En algunos cultivos se utiliza el porcentaje de radiación solar interceptada por el cultivo (IR(%)) como un indicador de los Kc a utilizar en cada momento (Ayars et al. 2003, Girona et al. 2005), en viña Williams et al. (2003) y Williams y Ayars (2005) aportan información sobre esta relación entre Kc e IR(%).

Tabla 3
Evolución estacional del Kc propuesto por Williams (2001) – adaptado del original - para un viñedo en espaldera con diferentes distancias entre líneas de cultivo. La relación utilizada para calcular los Kc para una distancia entre calles de 1.6 m fue: $Kc = 0.87 / (1 + e^{((x-525)/301)})$, donde x son grado · día (°C).

$\Sigma(\text{grado} \cdot \text{día}) \Sigma(^{\circ}\text{C})$	Kc 2.0 m	Kc 2.5 m	Kc 2.8 m
100	0.15	0.12	0.10
200	0.19	0.15	0.13
300	0.24	0.19	0.17
400	0.30	0.23	0.21
500	0.36	0.28	0.25
600	0.42	0.33	0.29
700	0.48	0.37	0.33
800	0.53	0.41	0.37
900	0.58	0.45	0.40
1000	0.62	0.48	0.43
1100	0.65	0.50	0.45
1200	0.67	0.52	0.47
1300	0.69	0.54	0.48
1400	0.71	0.55	0.49
1500	0.71	0.55	0.49

Durante el ciclo anual, el consumo de agua depende del desarrollo de la superficie foliar y de la demanda evaporativa de la atmósfera (Figura 18). El riego debe adaptarse a esta demanda creciente teniendo en cuenta la disponibilidad de la reserva hídrica del suelo y los objetivos cuantitativos y cualitativos de la cosecha.

II.12.3.2.2. Método basado en la medida del estado hídrico de la planta

Gran parte de la información existente tiende a describir la respuesta de la vid a diferentes tratamientos de riego (García-Escudero et al. 1991, Nadal y Arola 1995, Sipiora y Gutiérrez-Granda 1998) a la aplicación de estrés en diferentes momentos del ciclo anual (Matthews et al. 1987, Matthews y Anderson 1988, 1989) al comportamiento vegetativo, fisiológico y fenológico de la vid en diferentes condiciones de estrés hídrico (Bartolomé et al. 1995, Escalona et al. 1999), etc., pero existe limitada información sobre la utilización de indicadores de estrés permisible o del efecto de diferentes niveles de estrés sobre el rendimiento y composición del mosto y vino.

En muchos trabajos en los que el riego se programa a nivel de parcela y con frecuencias predeterminadas, los resultados no han sido coincidentes (Hepner et al. 1985, Bravdo et al. 1985). Ello puede deberse a que las condiciones de clima y suelo afectan e interactúan de forma muy clara con el riego y repercuten finalmente sobre el estado hídrico de la parte aérea de la planta.

Curiosamente los seguidores de las técnicas de programación de riego en base a contenido de agua en el suelo han criticado el uso del y_{12hs} porque éste depende de las condiciones climáticas (Williams 1994) y, sin embargo, es ésta la valoración clave para comprender la realidad, cuáles han sido las influencias del clima y el suelo sobre los tratamientos de riego experimentales y poder así evaluar hasta qué extremo pueden extrapolarse unos determinados resultados y hasta qué punto dichas condiciones experimentales son similares a las de otros trabajos publicados.

A este problema se le podría aproximar una solución si en lugar de establecer los niveles de estrés en función de proporciones en la dosis de agua respecto a un nivel de referencia que se considera óptimo, se basaran estos niveles de estrés directamente sobre una medida obtenida de la planta. Con la programación en base a potencial hídrico de hoja se pretende huir de cualquier hipótesis inicial y trabajar la programación del riego con valores reales de estrés hídrico medidos directamente sobre la planta. De esta forma, lo que se maneja directamente es el déficit hídrico de la planta y no su supuesto efecto a través de variaciones en aportación de agua en base a un nivel óptimo calculado.

Existen numerosos estudios en que se relaciona la respuesta de la vid al potencial hídrico de la hoja y en ellos se han definido algunos valores de este parámetro que aseguran un buen estado hídrico de la planta (Williams y Araujo 2002, Grimes y Williams 1990, Ojeda et al. 2002, Deloire et al. 2004). No obstante apenas hay referencias de estudios en que el riego se aplique en base a unos umbrales de potencial de hoja donde se utilice este valor como disparador del riego. Williams (2001), considera que la vid mantiene un buen estado hídrico cuando los valores de y_{12hs} se encuentran sobre -1.0 MPa para variedades blancas y -1.2 MPa para variedades tintas durante la fase de maduración de las bayas. Se puede establecer una graduación en los niveles de estrés que se iniciarán a partir de $y_{12hs} = -0.8$ MPa hasta valores próximos a -1.8 MPa.

II.12.3.3. Necesidades de riego

Necesidades de la planta no han de confundirse con necesidades de riego pues hemos de tener en cuenta los aportes procedentes de las precipitaciones así como la cantidad de agua que es capaz de almacenar el suelo y que está a disposición de ésta.

Las necesidades de riego serán: $\frac{ET_o \cdot K_c}{C_e} - (P_e)$

Pe es la precipitación efectiva

Ce es la eficiencia del riego ($C_e < 1$).

Las lluvias aisladas del verano o las primeras lluvias de fin de verano y principios de otoño son las que generan más dudas sobre la cantidad que realmente queda a disposición del sistema radical (P_e). Cuando el suelo está seco la conductividad hidráulica es muy baja y parte del agua de lluvia se pierde por escorrentía hasta que las primeras capas de suelo se humedecen. El tipo de suelo, la pendiente de la parcela, la presencia/ausencia de vegetación seca o en actividad, la intensidad de la lluvia, etc. son factores que van a influir en la pérdida de agua por escorrentía, o por el contrario, favorecer su infiltración. Hay diversas propuestas para estimar la P_e . Cuevas (2001) basándose en diversas fuentes (Coombe y Dry 1992, FAO 1990, Vaysse et al. 1990) concluyó lo siguiente:

- Una lluvia inferior a 7 mm/día tiene una eficiencia de 0%
- Una lluvia aislada entre 7 - 12 mm/día tienen una eficiencia del 50%
- Una lluvia aislada superior a 12 mm se considera efectiva al 100%
- Lluvias continuas superiores a 7 mm se consideran efectivas al 100% exceptuando los primeros 7 mm.

Aunque esta propuesta puede servir de orientación, lo más adecuado es determinar tras cada lluvia aislada, o

de pequeña intensidad, qué parte que se ha infiltrado en el suelo y supone un aporte real para la planta.

II.12.3.4. Parada del riego

La parada del riego se decidirá cuando las necesidades de la planta sean inferiores a las aportaciones de lluvia, es decir cuando $Pe > ET_o \cdot Kc$

En España es frecuente que durante y tras la vendimia las lluvias satisfagan las exigencias del cultivo y no sea necesario continuar el riego durante la fase vendimia-caída de hoja. Sin embargo, si fuese necesario habría que seguir hasta que las precipitaciones reintegren la demanda hídrica del cultivo. Algunos estudios ponen de manifiesto que el déficit hídrico en esta fase afecta al nivel de reservas de la planta y a la brotación del año siguiente.

II.12.3.5. Estrategias de riego

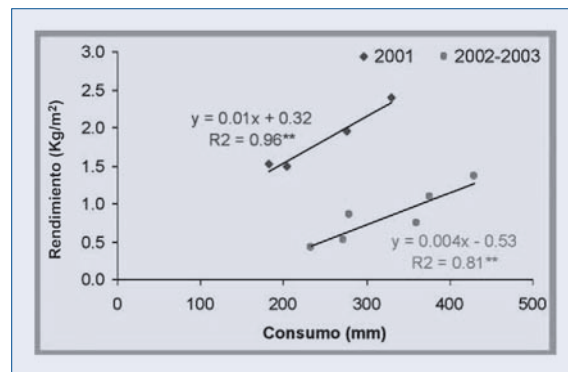
II.12.3.5.1. Estrategia basada en coeficientes de cultivo (Kc) constantes

Esta estrategia se basa en decidir un Kc único para toda la campaña de riego. Esta estrategia es la más sencilla de todas pues no modificamos el protocolo de riego una vez iniciado éste. Se suele emplear en zonas donde el comienzo del riego coincide con el desarrollo completo de la canopia y el principal interés se centra en mantener tasas de fotosíntesis óptima para garantizar la maduración de la cosecha y retrasar la senescencia de las hojas. La decisión de aplicar $k_c = 0.2$ ó 0.4 ó 0.6 dependerá de los objetivos de la explotación (mejora de la composición del mosto, aumento de rendimientos o ligero aumento de tamaño de baya) y del tipo de viñedo (apartado 2.12.3.2.1)

Cuando se refieren los efectos del riego es importante detallar cuáles son las características del tratamiento testigo o control. Cuando se comparan tratamientos de riego-no riego, en general, el riego incrementa el tamaño de la baya (Esteban et al 1999, García-Escude-

Figura 19

Relaciones entre el consumo de agua y el rendimiento en cv tempranillo/110R (2,0 x 1,2 m) plantadas en 1990. Cada punto representa pares de datos medios para el conjunto de tratamientos. Nivel de significación ** para $P < 0,01$. (Centeno 2004).



ro 1991, Yuste 1995) y la fertilidad de las yemas. Cuando se comparan distintas dosis de riego se obtiene un incremento de cosecha a través, principalmente del incremento de peso de la baya (Tabla 4).

Hay una relación entre la cantidad de agua consumida por el viñedo y el rendimiento de cosecha para cada situación concreta aunque el incremento del rendimiento es menos que proporcional al incremento de dosis de riego. Centeno (2005) obtuvo 2 relaciones dependiendo del efecto año (Figura 19).

En general el riego influye en el desarrollo vegetativo favoreciendo el crecimiento de los pámpanos o bien favoreciendo el agostamiento, obteniéndose un mayor peso de madera de poda por ha y por sarmiento (Tabla 5).

El riego deficitario, al favorecer el rendimiento controlando el desarrollo vegetativo, favorece la relación entre peso de cosecha y peso de madera de poda (Índice de Ravaz) (Tabla 5). Aunque algunos autores (Champagnol 1984, Bravdo 1985a) han dado relaciones óptimas para este equilibrio, el óptimo depende

Tabla 4

Rendimiento y sus componentes en cv cabernet-sauvignon/S04

	RENDIMIENTO (kg·ha ⁻¹)	RACIMO· SARMIENTO ⁻¹	PESO DEL RACIMO (g)	BAYAS· RACIMO ⁻¹	PESO DE 100 BAYAS (g)
T ₀	3270 ^c	1.6 ^b	42 ^c	61 ^b	68 ^c
T ₂₀	5770 ^b	1.8 ^a	70 ^b	83 ^a	85 ^b
T ₄₅	7140 ^a	1.8 ^a	83 ^a	88 ^a	96 ^a
Sig	**	*	**	**	**

Rac: racimos; Sar: sarmientos; P rac: peso del racimo; P 100 b: peso de 100 bayas. Datos medios del período 2002-2005 en la Finca El Socorro en Colmenar de Oreja – Madrid – ns, *, **: no significativo, significativo para $p \leq 0.05$ y significativo para $p \leq 0.01$, respectivamente. Separación de medias de los diferentes tratamientos mediante el test de Duncan para $p \leq 0.05$

Tabla 5

Peso de madera de poda, peso del sarmiento e índice de Ravaz. cv cabernet-sauvignon/SO4

	PESO MADERA PODA (kg·ha ⁻¹)	PESO SARMIENTO (g)	ÍNDICE DE RAVAZ
T ₀	1650 ^b	33 ^c	2.2 ^b
T ₂₀	1740 ^b	36 ^b	3.6 ^a
T ₄₅	2250 ^a	46 ^a	3.3 ^a
Sig	**	**	**

Datos medios del período 2002-2005 de la Finca El Socorro en Colmenar de Oreja – Madrid - .ns, *, **: no significativo, significativo para $p \leq 0,05$ y significativo para $p \leq 0,01$, respectivamente. Separación de medias de los diferentes tratamientos mediante el test de Duncan para $p \leq 0,05$. (Junquera et al. 2006).

de las condiciones de cultivo – tipo de poda, carga en yemas, riego/no-riego, etc. – de ahí que el rango sea enormemente amplio y su validez limitada a cuando se conocen todos los detalles del tipo de viticultura o para comparar situaciones semejantes.

Diversos trabajos en los que se aplica una estrategia de riego deficitario controlado (RDC) (Esteban et al. 1999, García-Escudero et al. 1991, Girona et al. 2005) han puesto de manifiesto la conservación de la calidad de los parámetros básicos del mosto (Tabla 6) excepto en el color, donde el riego va asociado a una disminución de la concentración de polifenoles totales (Esteban et al. 2001, García-Escudero et al. 2000, Gil y Yuste 2004) salvo años extremadamente secos (Tabla 7).

II.12.3.5.2. Estrategia basada en distintos umbrales de déficit hídrico a lo largo de la campaña.

Una variación de la estrategia anterior se basa en modificar los Kc a lo largo del ciclo para adaptarlos a la demanda de la planta, de la atmósfera, la disponibilidad de agua en el suelo y los objetivos de la cosecha. También se puede plantear una estrategia similar basada en establecer distintos umbrales de déficit hídrico de la planta en función del estado fenológico medido a través del potencial hídrico foliar a mediodía solar (Girona et al. 2006) o antes de amanecer (Deloire et

al. 2004). En el caso de kc variables, se suelen hacer 3 intervalos que coinciden con cambios fisiológicos importantes en la planta: a) brotación- cuajado o tamaño guisante b) cuajado – envero y c) envero- vendimia. En la primera etapa los coeficientes aconsejados son bajos, en torno a $Kc = 0.15 - 0.2$ y el riego no suele ser necesario. En la segunda y tercera etapa el valor de los coeficientes Kc (Tabla 8) variarán dependiendo de los objetivos de cosecha previamente diseñados (tamaño de baya, polifenoles, etc.).

Cabe, no obstante, mencionar que los Kc presentados en la tabla 8, son orientativos y que su valor dependerá del desarrollo vegetativo de la planta, de la carga de frutos de cada vid y de los objetivos productivos planteados.

En un ensayo llevado a cabo durante 4 años en Madrid en cabernet-sauvignon/ SO4 se estudió el efecto de restringir la disponibilidad hídrica entre envero y maduración respecto maduración-envero y respecto al uso de coeficientes constantes. Los resultados muestran que la dosis de agua tuvo un efecto más importante que su distribución en el tiempo (Tablas 9-11). La ausencia de diferencias más patentes entre los tratamientos respecto a ensayos previos (Matthews y Anderson 1989, Naor et al. 1993, Petrie et al. 2004) puede deberse a varias particularidades del ensayo: 1) en nuestra situación el periodo de riego cuajado-envero es más corto que envero-maduración, pues

Tabla 6

Evolución de los parámetros básicos del mosto con la dosis de riego en cv cabernet-sauvignon/SO4

	SST (BRIX)	PH	ATT (gTH2· L ⁻¹)
T ₀	24.9	3.4	6.1
T ₂₀	24.1	3.3	6.7
T ₄₅	25.1	3.4	6.4
Sig	ns	ns	ns

SST: sólidos solubles totales; ATT: acidez total titulable. Datos medios del período 2002-2005 en la Finca El Socorro en Colmenar de Oreja – Madrid - .ns, *, **: no significativo, significativo para $p \leq 0.05$ y significativo para $p \leq 0.01$, respectivamente. Separación de medias de los diferentes tratamientos mediante el test de Duncan para $p \leq 0.05$. (Junquera et al. 2006).

Tabla 7
Composición fenólica en vendimia del cv cabernet-sauvignon/S04.

	IPT	ANTOCIANOS TOTALES (mg·L ⁻¹)	ANTOCIANOS EXTRAÍBLES (mg·L ⁻¹)
T ₀	60	1401	775 ^b
T ₂₀	64	1472	816 ^b
T ₄₅	58	1473	954 ^a
Sig	ns	ns	*

Datos de la campaña 2005 de la Finca El Socorro en Comenar de Oreja – Madrid - IPT: índice de polifenoles totales. ns, *, **: no significativo, significativo para $p \leq 0.05$ y significativo para $p \leq 0.01$, respectivamente. Separación de medias de los diferentes tratamientos mediante el test de Duncan para $p \leq 0.05$. (Junquera et al. 2006)..

el riego comenzó en tamaño guisante, atendiendo al potencial hídrico y velocidad de crecimiento del pámpano. 2) Durante la etapa envero – maduración se limita el riego pero no se llega a situación de no-riego, atenuándose las diferencias entre dosis de riego respecto a no-riego. 3) Las lluvias estivales coincidentes con el final de la maduración tamponan los efectos de la gestión del riego.

Girona et al. (2006) en un ensayo de estrategias de rie-

Tabla 8
Composición fenólica en vendimia del
cv cabernet-sauvignon/S04

DESBORRE FLORACIÓN	FLORACIÓN ENVERO	ENVERO VENDIMIA
0.15	0.30	0.15
0.20	0.40	0.20
0.30	0.45	0.30

Tabla 9

Rendimiento y sus componentes

	RENDIMIENTO (kg·ha ⁻¹)	RACIMO· SARMIENTO ⁻¹	PESO DEL RACIMO (g)	BAYAS· RACIMO ⁻¹	PESO DE 100 BAYAS (g)
T ₂₀	5770 ^b	1.8	70	83	85 ^b
T ₄₅	7140 ^a	1.8	83	88	96 ^a
T ₂₀₋₄₅	7330 ^a	1.8	85	94	91 ^a
T ₄₅₋₂₀	6800 ^a	1.9	76	84	91 ^a
Sig	*	ns	ns	ns	**

Rac: racimos; Sar: sarmientos; P rac: peso del racimo; P 100bayas: peso de 100 bayas. Datos medios del período 2002-2005 en cv cabernet-sauvignon en la Finca El Socorro (Colmenar de Oreja, Madrid). ns, *, **: no significativo, significativo para $p \leq 0.05$ y significativo para $p \leq 0.01$, respectivamente. Separación de medias de los diferentes tratamientos mediante el test de Duncan para $p \leq 0.05$

Tabla 10

Peso de madera de poda, peso del sarmiento e índice de Ravaz.

	PESO MADERA PODA (kg·ha ⁻¹)	PESO SARMIENTO (g)	ÍNDICE DE RAVAZ
T ₂₀	1740 ^b	36 ^b	3.6
T ₄₅	2250 ^a	46 ^a	3.3
T ₂₀₋₄₅	2200 ^a	44 ^a	3.6
T ₄₅₋₂₀	1980 ^a	39 ^{ab}	3.6
Sig	**	*	ns

Datos medios del período 2002-2005 en cv cabernet-sauvignon en la Finca El Socorro (Colmenar de Oreja, Madrid). ns, *, **: no significativo, significativo para $p \leq 0,05$ y significativo para $p \leq 0,01$, respectivamente. Separación de medias de los diferentes tratamientos mediante el test de Duncan para $p \leq 0,05$

Tabla 11

Evolución de los parámetros básicos del mosto con la dosis de riego en cv cabernet-sauvignon/S04

	SST (BRIX)	PH	ATT (gTH2· L ⁻¹)
T ₂₀	24.1 ^b	3.3	6.1
T ₄₅	25.1 ^a	3.4	5.9
T ₂₀₋₄₅	25.0 ^a	3.3	5.6
T ₄₅₋₂₀	25.1 ^a	3.4	5.9
Sig	*	ns	ns

SST: sólidos solubles totales; ATT: acidez total titulable. Datos medios del período 2002-2005 en cv cabernet-sauvignon en la Finca El Socorro (Colmenar de Oreja, Madrid). ns, *, **: no significativo, significativo para $p \leq 0.05$ y significativo para $p \leq 0.01$, respectivamente. Separación de medias de los diferentes tratamientos mediante el test de Duncan para $p \leq 0.05$

Tabla 12

Efectos de los tratamientos de riego sobre la producción y sus componentes durante el periodo experimental 2001-2003. (Girona et al. 2006).

TRATAMIENTO	POTENCIAL HÍDRICO A MEDIO DÍA SOLAR Ψ_{12hs} (MPa)			
	2001		2002 Y 2003	
	Hasta mitad de Fase II	Desde mitad de Fase II hasta vendimia	Hasta mitad de Fase II	Desde mitad de Fase II hasta vendimia
C	- 0.8	- 0.8	- 0.6 – (-0.8)	- 0.8
CD	- 0.8	- 1.2	- 0.6 – (-0.8)	- 1.2
DD	- 1.5	- 1.2	- 1.0	- 1.2

Tabla 13

Efectos de los tratamientos de riego sobre la producción y sus componentes durante el periodo experimental 2001-2003 (Girona et al. 2006).

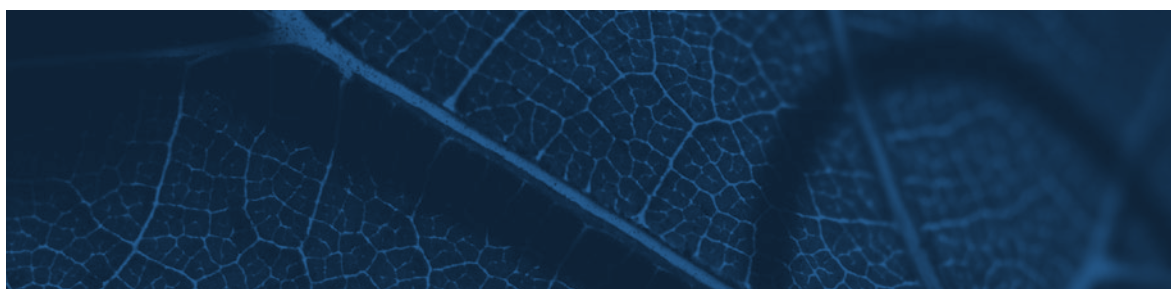
	KG DE UVA POR CEPA	NÚMERO DE RACIMOS POR CEPA	PESO MEDIO DEL RACIMO (G)	PESO DE LA BAYA (G)	NÚMERO DE BAYAS POR RACIMO
C	10.82 ^a	98.2 ^a	109.6 ^a	1.35 ^a	81.6
CD	9.21 ^b	96.4 ^a	96.3 ^c	1.17 ^b	83.2
DD	6.12 ^c	81.2 ^b	75.0 ^d	0.93 ^c	80.9
	***	**	***	***	

Tabla 14

Efectos de los tratamientos de riego sobre la producción y sus componentes durante el periodo experimental 2001-2003 (Girona et al. 2006).

TRATAMIENTOS	ANTOCIANOS (mg/kg)	POLIFENOLES TOTALES (mg/kg)	ACIDEZ TOTAL (g/L)	SÓLIDOS SOLUBLES TOTALES (°Brix)	VALORACIÓN DE CATA (1)
C	620 ^b	12.9 ^b	5.8 ^a	21.5	70
CD	782 ^a	16.4 ^a	5.8 ^a	20.0	95
DD	806 ^a	16.4 ^a	5.0 ^b	20.0	100

(1) Valoración de cata. Media de 10 valoraciones de cata. Valores de referencia al vino que obtuvo la máxima valoración (100).



go basadas en distintos umbrales del potencial hídrico foliar a lo largo del ciclo medido a mediodía (Tabla 12) obtuvieron una clara relación entre la cantidad de agua aplicada y el rendimiento (Tabla 13). Concluyeron que el tratamiento DD fue el que presentó una mejor calidad de vino y el tratamiento C fue el de calidad inferior (Tabla 14), aunque totalmente aceptable, y donde CD aparece con una buena calidad y una excelente productividad.

II.12.4. Aspectos prácticos recomendables

Cuando se quiere programar el riego de una explotación ya sea fijando unos Kc o basándose en unos umbrales de déficit medido a través del potencial hídrico a mediodía solar, se recomienda un balance semanal.

Tabla 15

Profundidad (cm)	80
Capacidad de campo (%)	26
Punto de marchitez (%)	13
Agua útil (AU) (% - mm)	13 - 108
Agua Fácilmente Utilizable (AFU) = 2/3 AU	72

La frecuencia de los riegos, en la época de máximas necesidades (cuajado – vendimia), se recomienda que sea la máxima posible – diaria – pues de esta forma, la planta dispondrá de agua fácilmente utilizable todos los días. Al distanciar los riegos se genera un pequeño estrés los días que no se riegan comportándose la planta como en una situación de secano.

El riego debe controlarse a través de indicadores del estado hídrico de la planta, aún en situación de haber decidido Kc constante, pues puede ser necesaria su modificación en situaciones anormales de sequía extrema. Por tanto se recomienda el uso de una estación meteorológica para conocer la demanda atmosférica, el seguimiento de indicadores en planta (potencial hídrico, dendrómetros, etc.) y suelo (TDR, FDR, bloques de yeso, etc.).

II.12.5. Ejemplos aplicados de estrategias de riego

A continuación se presentan 2 estrategias de riego en función de los objetivos de la cosecha en una misma finca. En el caso a) el objetivo es optimizar el rendimiento mientras que en el caso b) es optimizar la calidad. Las características del suelo figuran en la Tabla 15 y los resultados de los casos a) y b) en las Tablas 16 y 17 respectivamente.

Tabla 16
Estrategia con objetivo de maximizar rendimientos

MES	ETO (mm)	KC	ETC (mm)	AFU1 (mm)	PLUVIOMETRÍA (mm)	PE2 (mm)	NECESIDADES DE RIEGO (mm/mes)	EFICIENCIA DEL RIEGO	NECESIDADES NETAS (mm/mes)	% LAVADO	NECESIDADES NETAS + LAVADO (mm/mes)
Enero	36				20						
Febrero	48				26						
Marzo	80	0.30			36						
Abril	111	0.30	33	72	48	38	0	0.85	0	15	0
Mayo	137	0.50	68	72	53	42	0	0.85	0	15	0
Junio	178	0.70	125	46	15	12	67	0.85	79	15	90
Julio	188	0.70	131	0	12	9	122	0.85	144	15	165
Agosto	167	0.70	117	0	20	16	101	0.85	119	15	137
Septiembre	106	0.70	74	0	48	38	36	0.85	42	15	48
Octubre	64	0.45	29	0	49	39	0	0.85	0	15	0
Noviembre	40				26						
Diciembre	29				27						
Año	1181	577	377						383		441

Tabla 17
Estrategia con el objetivo de optimizar la calidad de la vendimia

MES	ET0 (mm)	KC	ETC (mm)	AFU1 (mm)	PLUVIOMETRÍA (mm)	PE2 (mm)	NECESIDADES DE RIEGO (mm/mes)	EFICIENCIA DEL RIEGO	NECESIDADES NETAS (mm/mes)	% LAVADO	NECESIDADES NETAS + LAVADO (mm/mes)
Enero	36				20						
Febrero	48				26						
Marzo	80				36						
Abril	111	0.25	28	72	48	38	0	0.85	0	15	0
Mayo	137	0.30	41	72	53	42	0	0.85	0	15	0
Junio	178	0.35	62	72	15	12	0	0.85	0	15	0
Julio	188	0.40	75	21	12	9	45	0.85	52	15	60
Agosto	167	0.40	67	0	20	16	51	0.85	60	15	69
Septiembre	106	0.40	42	0	48	38	4	0.85	5	15	5
Octubre	64	0.15	10	0	49	39	0	0.85	0	15	0
Noviembre	40				26						
Diciembre	29				27						
Año	1181		324						383		441

II.12.6. Referencias bibliográficas

Allen, RW, Pereira LS, Raes D, Smith M. 1998. Crop evapotranspiration. *Guidelines for computing crop water requirements*. FAO Irrigation and Drainage Paper No. 56. 300 pp.

Ayars, J.E., R. S. Johnson, C. J. Phene, T. J. Trout, D. A. Clark, R. M. Mead. 2003. Water use by drip-irrigated late-season peaches. *Irrigation Science* 22:187-194.

Bartolomé, M. C., V. Sotés, P. Baeza, C. Ruiz y J.R. Lissarrague. 1995. Efectos del déficit hídrico sobre el desarrollo vegetativo y fructífero del cultivar Tempranillo de vid (*Vitis vinifera* L.). *Investigación Agraria: Producción y Protección Vegetales* 10(2): 245-261.

Bravdo, B., Hepner Y., Loigner, C. Cohen S. and Tabacman H. 1985a. Effect of crop level and crop load on growth, yield, must and wine composition, and quality of Cabernet Sauvignon. *Am. J. Enol. Vitic* 36: 125-131.

Bravdo, B., Y. Hepner C. Loinger S. Cohen y H. Tabacman. 1985b. Effect of irrigation and crop level on growth yield and wine quality of Cabernet sauvignon. *Am. J. of Enol. Vitic.* 36: 132-139.

Buttrose, M. S. 1974. Fruitfulness in grapevines: effect of water stress. *Vitis* 12: 299-305.

Centeno, A. 2005. Evaluación del comportamiento de la vid (*Vitis vinifera* L., cv. Tempranillo) en condiciones de déficit hídrico: efectos sobre el estado hídrico, cre-

cimiento, rendimiento, biomasa y composición de la uva. Tesis Doctoral. Universidad Politécnica de Madrid.

Champagnol, F. 1984. Le mode de conduite. *Eléments de physiologie de la vigne et de viticulture generale*. F. Champagnol: 245-258.

Coombe, B.G. y P.R. Dry .1992. Viticulture, vol. 2: *Practices*. Winetitles, Adelaide. 376 pp.

Cuevas, E. 2001. Estudio de los mecanismos de adaptación ecofisiológica de la vid (*Vitis vinifera* L., cv. Tempranillo) al déficit hídrico. *Evaluación del consumo de agua y de las respuestas agronómicas en diferentes regímenes hídricos*. Tesis Doctoral. Universidad Politécnica de Madrid.

Centeno, A. 2005. Evaluación del comportamiento de la vid (*Vitis vinifera* L., cv. Tempranillo) en condiciones de déficit hídrico: efectos sobre el estado hídrico, crecimiento, rendimiento, biomasa y composición de la uva. Tesis Doctoral. Universidad Politécnica de Madrid.

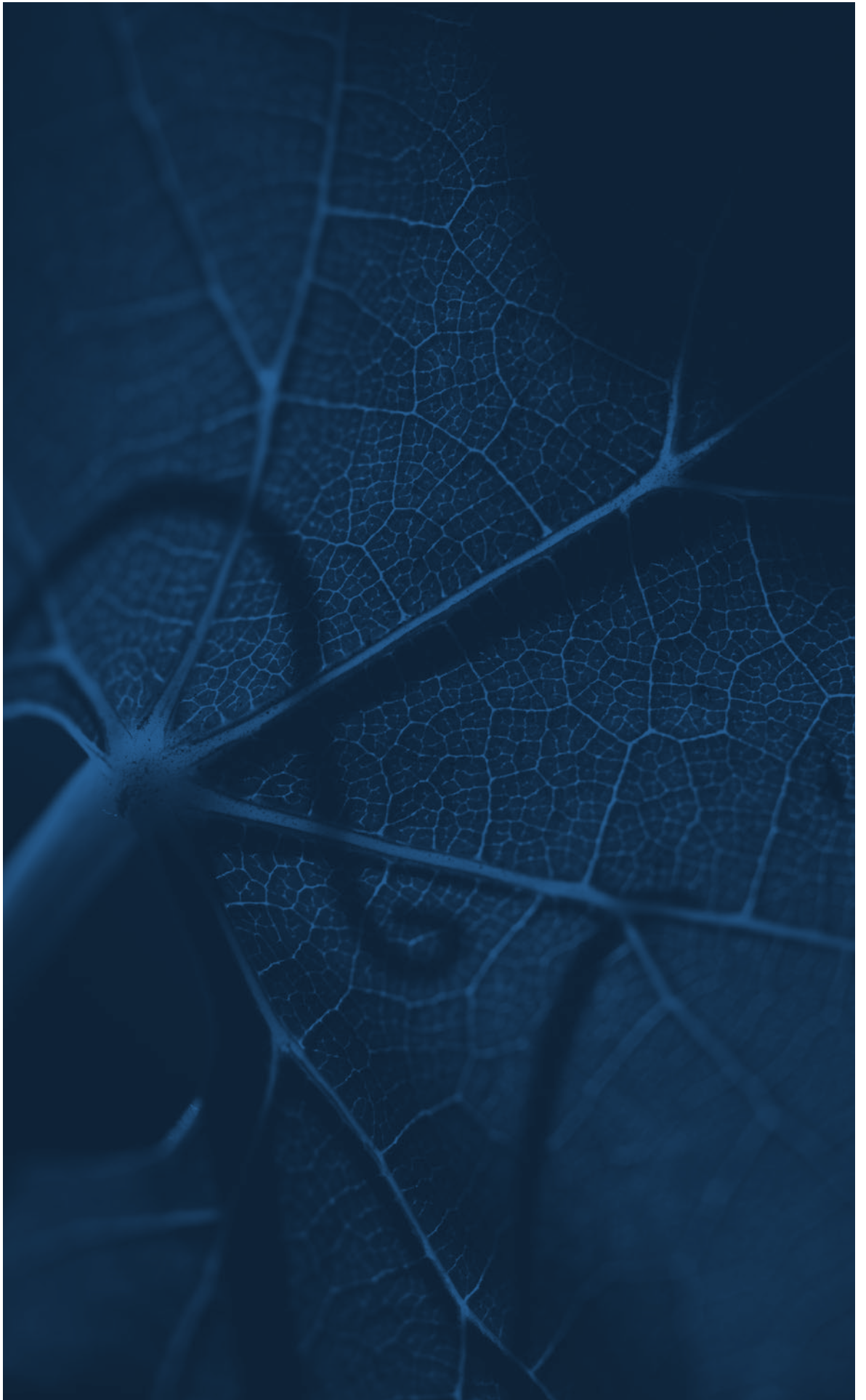
Deloire, A. Carbonneau, A.; Wang, Z; Ojeda, H. 2004. Vine and Water, a short review. *International Journal des Sciences de la Vigne et du Vin*, 38 (1):1-13.

Düring, H. 1991. Determination of the photosynthetic capacity of grapevine leaves. *Vitis* 30:49-56.

Escalona, J.M., J. Flexas y H. Medrano. 1999. Stomatal and non-stomatal limitations of photosynthesis under water stress in field-grown grapevines. *Aus. J. Grape and Wine Research* 26: 421-433.

- Esteban, M.A., M.J. Villanueva y J. R. Lissarrague. 1999.** Effect of irrigation on changes in berry composition of Tempranillo during maturation. *Sugars, organic acids and mineral elements. Am. J. Enol. Vitic.* 50(4): 418-434.
- Esteban, M.A., M. J. Villanueva y J. R. Lissarrague. 2001.** Effect of irrigation on changes in the anthocyanin composition of the skin of cv. *Tempranillo (V. vinifera, L.) grape berries during ripening. J. Sci. Food & Agric.* 81: 409-420.
- Esteban, M.A., M.J. Villanueva y J.R. Lissarrague. 2002.** Relationships between different berry components in *Tempranillo (V. vinifera, L.) grapes from irrigated and nonirrigated vines during ripening. J. Sci. Food & Agric.* 82: 1-11.
- García-Escudero, E. 1991.** Influencia de la dosis y del momento de aplicación del riego sobre la producción y desarrollo vegetativo, calidad del mosto y nutrición mineral de la vid. *Tesis Doctoral. Universidad Politécnica de Madrid.*
- García-Escudero, E., P. Aquilué, R. López y I. Palacios. 1991.** "Aplicación de dosis moderadas de agua en el proceso de maduración de cv. *Tempranillo en Rioja.*" *Vitivinicultura* 1: 30-34.
- García-Escudero, E., R. López, P. Santamaría y O. Zaballa. 2000.** "Control de rendimiento en viñedos conducidos en régimen de riego localizado." *Viticultra y Enología Profesional* 69: 12-24.
- García-Escudero, E., F. Martínez, J. R. Lissarrague y V. Sotés. 1994.** "Influencia del momento de aplicación del riego sobre la producción y la calidad del mosto." *Vitivinicultura* 1-2: 49-54.
- Gil, M. y J. Yuste. 2004.** Maturation phénologique des raisins rouges du cépage *Tempranillo* conduit en gobelet dans différentes conditions édapho-climatiques de la Vallée du Douro. *Journal International des Sciences de la Vigne et du Vin* 38(1): 81- 88.
- Girona, J. 2005.** Manejo del riego en vides para vino en España. *Curso Internacional: Manejo del riego y suelo en vides para vino y mesa. Resumen de las Conferencias, INIA, Chile (en prensa).*
- Girona, J., M. Mata y J. Marsal. 2005.** Regulated deficit irrigation during the kernelfilling period and optimal irrigation rates in almond. *Agricultural Water Management* 75(2): 152-167.
- Girona, J., M. Mata, J. Marsal y J. del Campo. 2005.** Pear crop coefficients obtained in a large weighing lysimeter. *Acta Horticulturae* 664:277-281.
- Girona, J., M. Mata, J. d. Campo, A. Arbonés, E. Bartra y J. Marsal- 2006.** The use of midday leaf water potential for scheduling deficit irrigation in vineyards. *Irrigation Science* 24: 115-127.
- Gómez del Campo, M., C. Ruiz, V. Sotés y J. R. Lissarrague. 2002.** Effect of water stress on leaf area development, photosynthesis and productivity in Chardonnay and Airén grapevines. *American Journal of Enology and Viticulture* 53(2): 138-143
- Gómez del Campo, M., C. Ruiz, P. Baeza y J. R. Lissarrague. 2003.** Stratégies d'adaptation à la sécheresse de quatre cépages de vigne (*Vitis vinifera L.*): *Modification des caractéristiques de la surface foliaire. Journal International des Sciences de la Vigne et du Vin* 37(3): 131-143.
- Grimes, D. W. y L. E. Williams 1990.** Irrigation effects on plant water relations and productivity of Thompson seedless grapevines. *Crop Science* 30: 255-260.
- FAO. 1990.** FAO Penman-Monteith Formula. *Expert consultation on revision of FAO methodologies for crop water requirements. Roma.*
- Hardie, W.J. y S.R. Martin. 2000.** Shoot growth on de-fruited grapevines: a physiological indicator for irrigation scheduling. *Aust. J. Grape and Wine Research.* 6: 52- 58.
- Hepner, Y., B. Bravdo, C. Loinger, S. Cohen y H. Tabacman. 1985.** Effect of drip irrigation schedules on growth, yield, must composition and wine quality of Cabernet Sauvignon. *Am. J. Enol. Vitic* 36:77-85.
- Hunter, J.J. 1998a.** Plant spacing implications for grafted grapevine I. *Soil characteristics, root growth, dry matter partitioning, dry matter composition and soil utilisation. S. Afr. J. Enol. Vitic. Vol. 19. Nº 2, 25-34.*
- Hunter, J.J. 1998b.** Plant spacing implications for grafted grapevine II. *Soil water, plant water relations, canopy physiology, vegetative and reproductive characteristics, grape composition, wine quality and labour requirements. S. Afr. J. Enol. Vitic. Vol. 19. Nº 2, 35-51.*
- landolino, A. 2004.** Canopy C balance and abiotic stress effects on the metabolic profile of flavonoids in grapevine (*Vitis vinifera L.*) berries. *Doctoral Thesis. University of California, Davis.*
- Junquera, P., P. Sánchez de Miguel, R. Linares, M. de la Fuente y P. Baeza. 2006.** Respuesta agronómica del viñedo a diferentes disponibilidades hídricas. *Estudio de la influencia de la dosis y el reparto del riego en el tiempo. Boletín Agrario de la Comunidad de Madrid. (en prensa).*
- Kriedemann, P.E. y R.E. Smart. 1971.** Effects of irradiance, temperature and leaf water potential on pho-

- tosynthesis of vine leaves. *Photosynthetica* 5(1): 6-15.
- Matthews, M.A. y M.M. Anderson. 1989.** Reproductive development in grape (*Vitis vinifera* L.): responses to seasonal water deficits. *Am. J. Enol. Vitic.* 40: 52-60
- Matthews, M.A., M.M. Anderson y H. Schultz. 1987.** Phenologic and growth responses to early and late season water deficits in Cabernet franc. *Vitis* 26: 147-160.
- Matthews, M. A. y M.M. Anderson. 1988.** Fruit ripening in *Vitis vinifera* L.: responses to seasonal water deficits. *Am. J. Enol. Vitic.* 40: 52-60.
- Medrano, H., J.M. Escalona, J. Cifre, J. Bota y J. Flexas. 2003.** A ten-year on the physiology of two Spanish grapevine cultivars under field conditions: effects of water availability from leaf photosynthesis to grape yield and quality. *Functional Plant Biology*. 30: 607-619.
- Myburgh, P.A. 2003a.** Responses of *Vitis vinifera* L. cv. *Sultana* to Level of soil water depletion under semi-arid conditions. *S. Afr. J. Enol. Vitic.* 24(1): 16-24.
- Myburgh, P.A. 2003.** Responses of *Vitis vinifera* L. cv *Sultana* to water deficits during various pre- and post-harvest phases under semi-arid conditions. *S. Afr. J. Enol. Vitic.* 24: 25-33
- Nadal, M. y L. Arola. 1995.** Effects of limited irrigation on the composition of must and wine of Cabernet sauvignon under semi- arid conditions. *Vitis* 34(3): 151-154.
- Naor, A., B. Bravdo y Y. Hepner. 1993.** Effect of post-veraison irrigation level on Sauvignon blanc yield, juice quality and water relations. *S. African J. Enol. Vitic.* 14: 19-25
- Ojeda, H., A. Deloire y A. Carbonneau. 2001.** Influence of water deficits on grape berry growth. *Vitis* 40(3): 141-145.
- Ojeda, H., C. Andary, E Kraeva, A. Carbonneau y A. Deloire. 2002.** Influence of preand postveraison water déficit on síntesis and concentration of skin phenolic compounds during berry growth od *Vitis vinifera* cv. *Shiraz*. *Am. J. Enol. Vitic.* 53: 261-267
- Peterlunger, E., P. Sivilotti y V. Colussi. 2005.** Water stress increased Polyphenolic quality in Merlot grapes. *Proceedings of the VIIth Symp on Grapevine Physiology and Biotechnology. Acta Horticulturae* 689: 293-300.
- Petrie, P.R., N.M. Cooley y P.R. Clingeleffer. 2004.** The effect of post-veraison water deficit on yield components and maturation of irrigated Shiraz (*Vitis vinifera* L.) in the current and following season. *Aust. J. Grape and Wine Research* 10: 203-215
- Roby, G., J. F. Harbertson, D. A. Adams y M. A. Matthews. 2004.** Berry size and vine water deficits as factors in winegrape composition: Anthocyanins and tannins. *Aust. J. Grape and Wine Research* 10: 100-107.
- Roby, G. y M.A. Matthews. 2004.** Relative proportions of seed, skin and flesh, in ripe berries from Cabernet sauvignon grapevines grown in a vineyard either well irrigated or under water deficit. *Aus. J. Grape and Wine Research* 10: 74-82.
- Sánchez-de-Miguel, P., A. Centeno, P. Baeza y J. R. Lissarrague. 2005.** Photosynthetic response to light of 'Tempranillo' leaves in the field: effects of leaf age, position and water potential. *ISHS Acta Horticulturae* 689 (VII International Symposium on Grapevine Physiology and Biotechnology): 357-364.
- Schultz, H. R. 2003.** Differences in hydraulic architecture account for near-isohydric and anisohydric behaviour of two fieldgrown *Vitis vinifera* L. cultivars during drought. *Plant, Cell and Environment* 26: 1393-1405.
- Sipiora, M. y M.J. Gutiérrez-Granda. 1998.** Effects of pre-veraison irrigation cut-off and skin contact time on the composition, color and phenolic content of young Cabernet sauvignon wines in Spain. *Am. J. enol. vitic* 49(2): 152-162.
- Smart, R.E , N.J. Shaulis, E.R. Lemon. 1982.** The effect of Concord vineyard microclimate on yield II. *The interrelations between microclimate and yield expresión. Am.J.Enol.vitic.* 33:109-116.
- Vaysse, P., P. Swing y P. Peyremorte. 1990.** L'irrigation des arbres fruitiers. *Montpellier : CTIFL.*
- Williams, L.E. 1994.** Grape. In: *Handbook of environmental physiology of fruit crops.* pp. 86-118. Orlando.
- Williams, L.E. 2001.** Irrigation of winegrapes in California. *Practical Winery.* Nov- Dec:41-55
- Williams, L.E. y F. J. Araujo. 2002.** Correlations among predawn leaf, midday leaf, and midday stem water potential and their correlations with other measures of soil and plant water status in *Vitis vinifera*. *J. Am. Soc. Hortic. Sci.* 127(3): 448-454.
- Williams, L.E y J.E. Ayars. 2005.** Grapevine water use and the crop coefficient are linear functions of the shaded area measured beneath the canopy. *Agricultural and Forest Meteorology.* 132: 201-211.
- Williams, L.E., C. J. Phene, D. W. Grimes, T. J. Trout, 2003.** Water use of mature Thompson Seedless grapevines in California. *Irrigation Science,* 22:11-18



La uva



Capítulo III

206 **III.1. Nuevos métodos para la determinación de la madurez fenólica**

Fernando ZAMORA MARÍN

212 **III.2. Influencia de la eliminación y el aporte de pepitas sobre el color, la composición fenólica y la astringencia del vino tinto**

Roser CANALS, María del Carmen LLAUDY,
Joan Miquel CANALS y Fernando ZAMORA

222 **III.3. Influencia de la etapa de maduración y del tiempo de maceración en la contribución de hollejos, pepitas y rabillos en la composición fenólica y en la astringencia en maceraciones de vino simuladas**

María del Carmen LLAUDY, Roser CANALS,
Joan Miquel CANALS y Fernando ZAMORA

232 **III.4. Influencia de la concentración de etanol en la extracción de color y de compuestos fenólicos de los hollejos y pepitas de uvas tempranillo en diversas etapas de maduración**

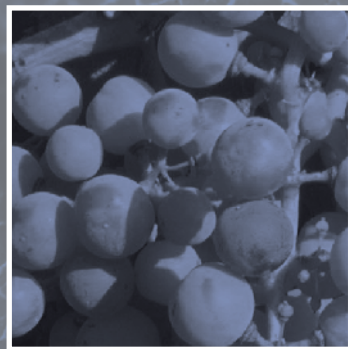
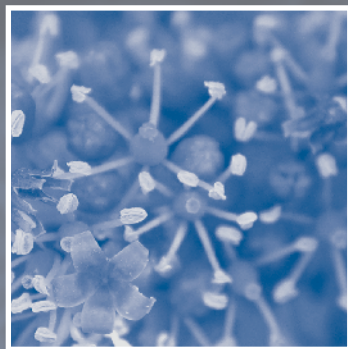
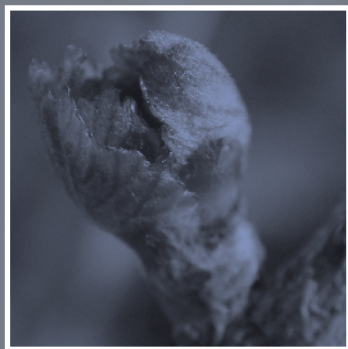
Roser CANALS, María del Carmen LLAUDY, J. VALLS,
Joan Miquel CANALS y Fernando ZAMORA

244 **III.5. Las vitisinas o piranoantocianos; nuevos pigmentos entificados en el vino tinto.**

Fernando ZAMORA MARÍN



III.1. Nuevos métodos para la determinación de la madurez fenólica



207 III.1.1. Introducción

211 III.1.2. Referencias bibliográficas

III.1.1. Introducción

El concepto de madurez fenólica no es un tema nuevo sino que es uno de los temas que durante las últimas 2 décadas han suscitado mayor interés a los elaboradores de vinos tintos. No cabe la menor duda de que la concentración y extractibilidad de los antocianos presentes en la piel de la uva, así como la proporción de tanino de las pepitas, son algunos de los principales factores que condicionarán la futura calidad del vino tinto (Ribéreau-Gayon et al., 1999). Por esta razón, durante los últimos años se ha hablado - y se continuará hablando - de la necesidad de disponer de metodologías eficaces para determinar el nivel de madurez fenólica real de las uvas, para de este modo disponer de un criterio más adecuado para decidir la fecha óptima de vendimia (Glories y Agustin, M., 1993, Lamadon, 1995; Izcara y González, 2001, Zamora, 2002).

Para ilustrar estos conceptos es necesario mostrar la evolución de los compuestos fenólicos de la uva a lo largo del proceso de maduración (Figura 1).

En ella se puede ver que la concentración de antocianos aumenta hasta alcanzar un valor máximo. Posteriormente se observa un ligero descenso. Por su parte los taninos de la piel aumentan durante el proceso de maduración, mientras que los de las pepitas disminuyen (Ribéreau-Gayon et al., 1999).

Como se puede ver en la Figura 2, la astringencia de los taninos del hollejo tiende a disminuir, mientras que la de los taninos de las pepitas se mantiene constante a lo largo del proceso de maduración. En su conjunto la

uva verde posee menos taninos que la madura, pero en cambio la contribución de taninos de las pepitas, y por tanto su astringencia global, será mayor (Delteil, 1998; Ribéreau-Gayon et al., 1999).

La principal razón por la cual los taninos de las pepitas son más astringentes que los de los hollejos esta relacionada con el hecho de que los taninos de las pepitas y los de los hollejos no presentan la misma composición. La Figura 3 ilustra este hecho. Básicamente, los taninos de los hollejos son ricos en prodelphinidinas y apenas poseen unidades galoiladas, mientras que los de las pepitas son especialmente ricos en unidades galato de epicatequina lo que les confiere su mayor astringencia (Cheynier, 2002)

Resumiendo todo lo expuesto, la uva verde posee una baja concentración de antocianos que además serán de difícil extracción. Así mismo, la uva verde presenta una gran concentración de taninos de las pepitas, por lo que si se fuerza la maceración, a fin y efecto de extraer el suficiente color, se extraerá también tanino astringente y herbáceo. Por el contrario, la uva madura tendrá una alta concentración de antocianos fácilmente extraíbles y dará lugar a vinos con cuerpo y de taninos suaves.

Por todo lo expuesto resulta evidente que el grado de madurez fenólica de la uva es un factor determinante de la calidad del vino tinto y que por tanto la determinación de la fecha de vendimia debiera de ser efectuada utilizando este criterio.

Figura 1
Evolución de los compuestos fenólicos durante la maduración

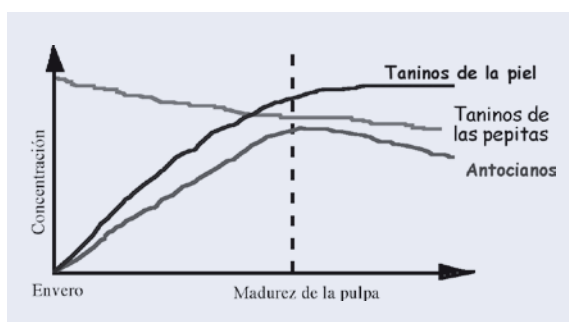


Figura 2
Evolución de la astringencia de los taninos durante la maduración

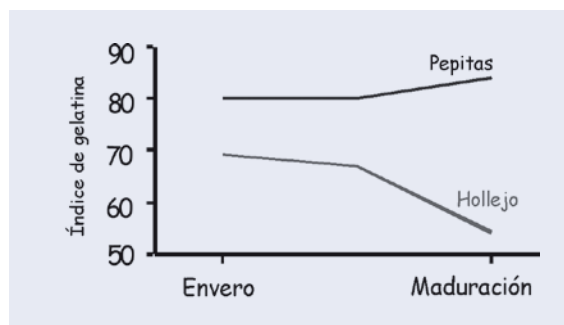


Figura 3
Distribución de proantocianidinas de la uva

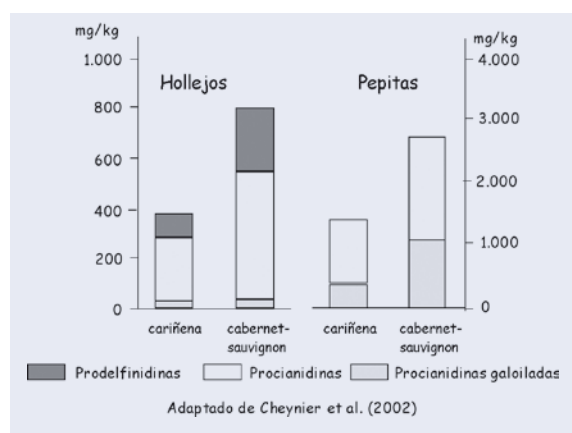
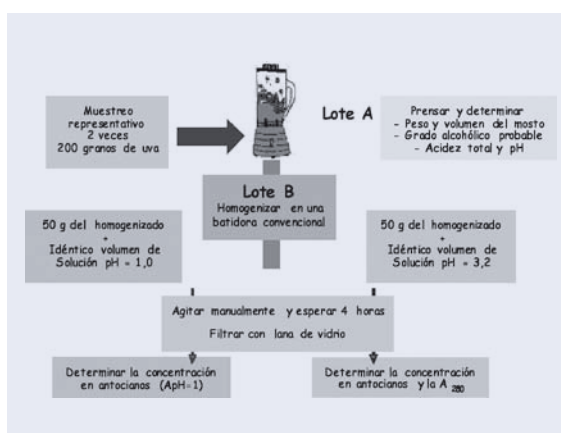


Figura 4
Protocolo de determinación de la madurez fenólica



Durante los últimos años han aparecido en la literatura diversas metodologías para la determinación de la madurez fenólica (Dupuch, 1993; Lamadon, 1995; Venencie et al., 1997; Izcara y González, 2001; Dubernet et al., 2000; Celotti et al., 2007), si bien la más utilizada sea probablemente la descrita por el profesor Glories (Glories y Agustín, 1993).

No obstante, todas estas metodologías son engorrosas en su aplicación y los resultados que se obtienen no siempre reflejan lo que después ocurrirá en el depósito de vinificación. De hecho la mayor parte de los métodos que se utilizan para determinar la madurez fenólica constan de 2 puntos críticos: el primero es la fase de extracción y el segundo es la fase propiamente analítica. Es necesario distinguir ambas fases ya que son independientes y ambas determinan enormemente la fiabilidad y robustez del método.

La fase de extracción es clave ya que en ella se pretende reproducir de forma acelerada el proceso de solubilización de los compuestos fenólicos que tendrá lugar posteriormente en el depósito. Este es probablemente el factor determinante de todas las metodologías, ya que no se trata de extraer todo aquello que la uva contiene, sino de solubilizar tan sólo lo que el futuro vino tendrá.

Por su parte, la fase analítica consistirá en analizar los parámetros que se consideren más adecuados a partir del extracto obtenido anteriormente. Es importante considerar que si la extracción no es representativa, todo lo que hagamos después no servirá de nada por muy poderosos y precisos sean los métodos de análisis que utilicemos después. No se trata de saber la composición del extracto sino de saber que vino nos dará esa uva. Por lo tanto, la fiabilidad de todos los métodos depende sobremanera del procedimiento de extracción que apliquemos.

La Tabla 1 sintetiza las características de los métodos más utilizados en la actualidad para la determinación

de la madurez fenólica de la uva.

Como se puede ver en esta tabla, existen diversos métodos, si bien el más utilizado hasta la fecha es probablemente el que diseñó el Profesor Yves Glories. En la Figura 4 se muestra esquemáticamente el procedimiento.

Los antocianos del extracto a pH=1 se asimilan a los antocianos totales presentes en la uva, mientras que los antocianos del extracto a pH=3,2 se asimilan a aquellos que serán extraídos durante la vinificación. EA% representa el porcentaje de antocianos que no serán extraídos y finalmente MP% representa el porcentaje de taninos que aportaran las pepitas.

En teoría los antocianos potenciales deberían aumentar durante el proceso de maduración hasta alcanzar un valor máximo. Los antocianos extraíbles también deberían de aumentar. Por su parte EA% y MP% deberían de disminuir al incrementarse el nivel

Tabla 1
Comparación entre los diferentes métodos de determinación de la madurez fenólica

Método	Fase de extracción	Análisis	Tiempo/dificultad
Glories y Agustín, 1993	Trituración con batidora; Maceración durante 4 horas con dos soluciones a pH=1 y a pH=2	Antocianos extraíbles Antocianos totales IPT Extractibilidad de los antocianos % tanino de semilla	*****
ITV (Dupuch, 1993)	Trituración con batidora; Maceración durante 1 hora con HCl-etanol	A520 y A280	+++
Gnomonios (Gracia)	Trituración con batidora; maceración a alta temperatura en equipo propio y con soluciones comerciales	Color probable Índice de madurez fenólica	+
Dubernet et al., 2000	Trituración con batidora y centrifugación	FIR Múltiples parámetros	*****
Celotti et al., 2007	Calentamiento con microondas Trituración en batidora Maceración rápida con enzimas	Antocianos extraíbles IPT	++

de madurez de la uva. Generalmente EA% oscila entre el 70 y el 20 %, mientras que MP% suele hacerlo entre el 60 y el 10 %. Para escoger la fecha óptima de vendimia, en función de estos parámetros deberíamos apuntar hacia valores de antocianos potenciales altos (más de 1000 mg/l), y a niveles de EA% y MP% bajos (inferiores a 30 % en ambos casos).

Como se puede deducir de lo expuesto hasta el momento, la metodología descrita por el Profesor Glories es laboriosa y de difícil aplicación en la bodega. Por esta razón, otras metodologías han surgido para tratar de simplificar el proceso. Tal es el caso del método ITV, que es algo más rápido y sobretodo del reciente método Cromoenos, que permite una determinación muy rápida (menos de 10 minutos).

Muy recientemente, el grupo de Celotti et al. (2007) ha propuesto una extracción mediante la utilización del microondas que en principio permite acelerar la extracción. También es necesario señalar que las técnicas FTIR (Infrarrojo-Transformada de Fourier) ya se están aplicando al análisis de los extractos (Dubernet et al., 2000) lo que debería de permitir alcanzar resultados analíticas más complejos que los actuales.

No obstante, el principal problema de todos estos métodos es saber su grado de fiabilidad. La mayor

parte de los trabajos se limitan a comparar los métodos entre ellos, pero no intentan comprobar si son verdaderamente eficaces para predecir el color y/o la composición fenólica de los futuros vinos. Por esta razón en nuestro grupo de investigación nos planteamos profundizar en este aspecto.

Para ello, nos planteamos en la cosecha 2007, realizar vinificaciones por triplicado de 4 variedades viníferas: tempranillo, garnacha tinta, merlot y cabernet sauvignon, en 3 momentos de madurez diferentes: 3, 5 y 7 semanas después del envero. A todas las variedades se les realizó el seguimiento de la madurez fenólica mediante los métodos Glories, ITV y Cromoenos, y los resultados de estos análisis se compararon con los de sus correspondientes vinos resultantes.

La Figura 5 muestra los resultados obtenidos con el método Glories.

Como se puede ver, el método Glories proporciona unos resultados bastante buenos en cuanto a la relación entre los antocianos extraíbles y los que después tendremos en el vino. No ocurre lo mismo en cuanto al índice de polifenoles totales (IPT) ya que la correlación es mucho peor.

La Figura 6 muestra los resultados obtenidos con el método ITV.

Figura 5
Comparación entre los resultados predichos por el método Glories y los obtenidos tras la vinificación.

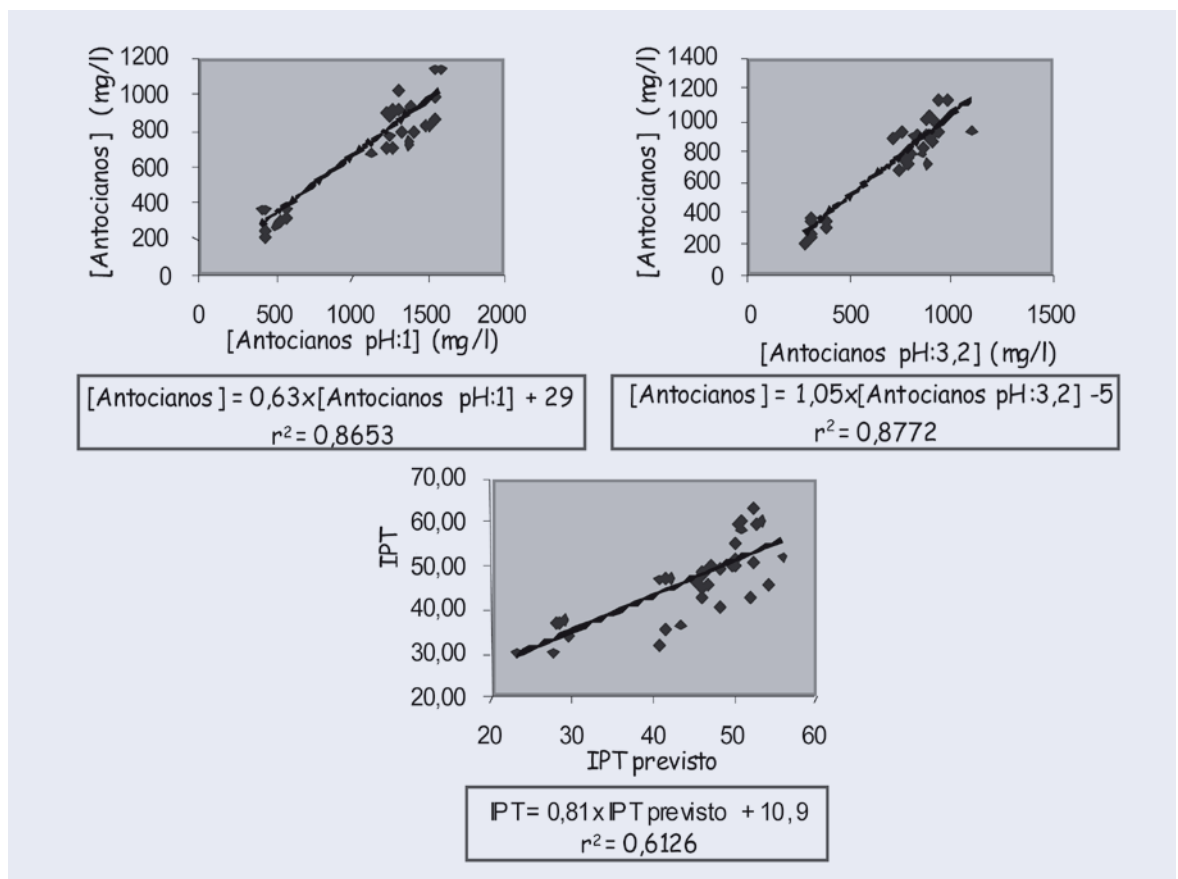
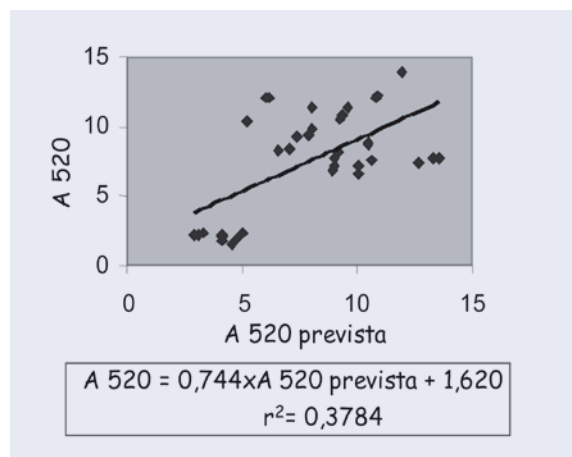


Figura 6
Comparación entre los resultados predichos por el método ITV y los obtenidos tras la vinificación



En este caso los resultados fueron un tanto decepcionantes ya que el coeficiente de correlación lineal fue verdaderamente muy bajo.

Finalmente, la Figura 7 muestra los resultados obtenidos con el método Cromoenos.

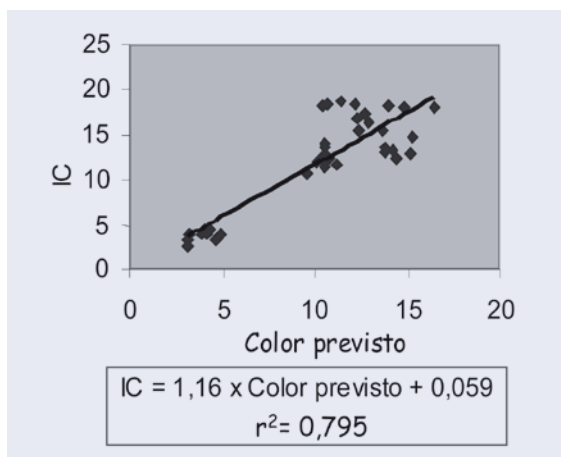
En este caso, se puede ver que la correlación, es mucho mejor que en el caso precedente.

Se puede concluir que de entre los métodos de determinación de la madurez fenólica estudiados, el método Glories es el que mejor coeficiente de correlación obtiene en la predicción de la concentración de antocianos del vino, si bien es un método laborioso y de difícil aplicación en la bodega. El método ITV, no parece ser adecuado ya que origina un coeficiente de correlación realmente muy bajo y por tanto resulta atrevido predecir la intensidad del color de los futuros vinos. Finalmente, el método cromoenos, presenta un razonable coeficiente de correlación entre el color predicho y el que se obtiene en los vinos, y además presenta la ventaja de ser de muy rápida aplicación.

No obstante hay que señalar que la puesta en marcha de un sistema de decisión de fecha de vendimia en función de controles de madurez fenólica es realmente complicado. La experiencia práctica en la aplicación de esta metodología indica que existe una variabilidad muy importante en la toma de muestra y en el protocolo de maceración de las uvas y su posterior análisis. De hecho numerosas bodegas lo han ensayado con resultados irregulares. El problema es que esta metodología, tal y como esta descrita, se ha de aplicar con un gran rigor. Si no es así, puede dar lugar a resultados erráticos que desorienten al enólogo.

Por todo ello, este es un tema aun abierto ya que es necesario optimizar los métodos existentes para la

Figura 7
Comparación entre los resultados predichos por el método Cromoenos y los obtenidos tras la vinificación.



determinación del grado de madurez fenólica. Por una parte, concretando más aun las condiciones de preparación de la muestra que disminuyan los errores, y por otra diseñando sistemas que permitan una automatización del proceso, haciéndolo mucho más rápido y efectivo.

Otra reflexión, necesaria en un contexto realista, es que la aplicación de la determinación de la madurez fenólica como instrumento para la decisión de la fecha de vendimia es, en muchos casos, una utopía. De hecho la vendimia, como todos sabemos, esta condicionada por múltiples aspectos como la climatología, el estado sanitario, la capacidad de la bodega, las posibilidades de vendimia de los proveedores, etc, que al final son, por desgracia, de mayor peso que la propia madurez de la uva. Tan solo algunas bodegas que elaboran uva de sus propios viñedos podrían permitirse la utilización de este criterio.

Aun así, la determinación del grado de madurez fenólica puede ser muy útil como herramienta de control en la entrada de la bodega. La uva podría, de este modo, ser clasificada en función de su grado de madurez fenólica. Esto serviría como criterio de separación de calidades y permitiría establecer un precio de la uva en función de su calidad real. Además, el enólogo, al conocer el nivel real de madurez fenólica de las diferentes partidas, podría aplicar aquellas estrategias de vinificación que permitiesen el grado de extracción más adecuado (Delteil, 1995; Ribéreau-Gayon et al., 1999).

Agradecimientos: Este trabajo ha sido financiado por la CICYT (proyectos AGL2007-66338 y AGL2004-02309).

III.1.2. Referencias bibliográficas

CELOTTI, E. ; DELL'OSTE, S. ; FIORINI, P. ; CARCERI, G. (2007) Une nouvelle méthode pour l'évaluation des polyphénols des raisins rouges. *Revue des Œnologues*, 125, 23-27.

DELTEIL, D. (1995) Les macerations en rouge: L'art du détail. *Rev. Œnol.*, 77, 23-25.

DUBERNET, M. ; DUBERNET, M. ; DUBERNET, V. ; LERCH, M. ; COULOMB, S. ; TRINEAU, I. (2000) Analyse objective de la qualité des vendanges par spectroscopie infrarouge à transformée de Fourier et réseaux de neurones, *Revue Française d'Oenologie*, 185, 18-21.

DUPUCH, V. (1993) Appréciation de la matière phénolique des vins rouges; application à la détermination de la date de récolte. Actes du Colloque "Journé technique du CIVB" 21 janvier 1993, Bordeaux, pp 62-69.

GLORIES, Y. y AGUSTIN, M. (1993) maturité phénolique du raisin, conséquences technologiques; applica-

tion aux millésimes 1991 et 1992. Actes du Colloque "Journé technique du CIVB" 21 janvier 1993, Bordeaux, pp 56-61.

IZCARA, E. y GONZÁLEZ, M.L. (2001) Análisis de métodos rápidos de extracción para seguir la maduración fenólica de la uva. *Enólogos*, 14, 14-18.

LAMADON, F. (1995) Protocole pour l'évaluation de la richesse polyphénolique des raisins. *Rev. Œnol. Techniq. Vitvnic. Œnol.* 76, 37-38.

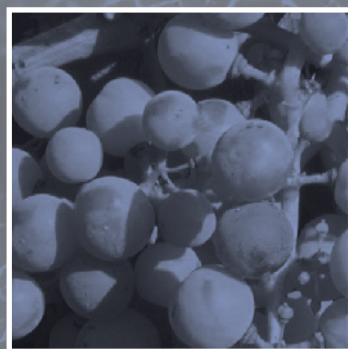
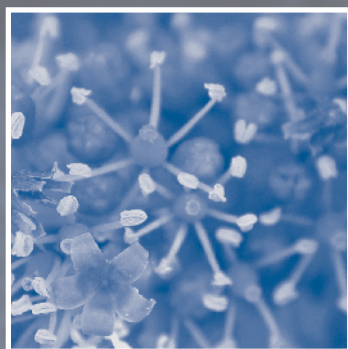
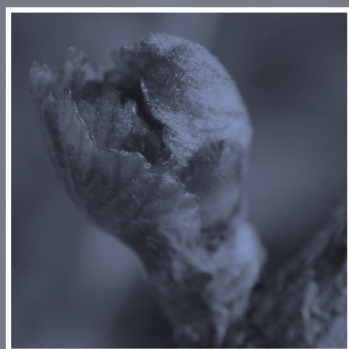
RIBEREAU-GAYON, P.; GLORIES, Y.; MAUJEAN, A. y DUBOURDIEU, D. (1999) Phenolic Compounds. En "Handbook of enology, Vol 2 "The chemistry of wine, Stabilization and treatments". *John Wiley & sons, Ltd, Chichester*, pp 129-186.

VENENCIE, C.; UVEIRA, M.N. y GUIET, S. (1997) Maturité polyphénolique du raisin; Mise en place d'une méthode d'analyse de routine. *Rev. Fran. Œnol.* 167, 36-41.

ZAMORA, F. (2002) La madurez fenólica; Un tema abierto. *Enólogos*, 18, 24-28



III.2. Influencia de la eliminación y el aporte de pepitas sobre el color, la composición fenólica y la astringencia del vino tinto



213	III.2.1. Introducción
214	III.2.2. Materiales y métodos
215	III.2.3. Resultados y comentario
220	III.2.4. Referencias bibliográficas



Roser CANALS,
María del Carmen LLAUDY,
Joan Miquel CANALS,
Fernando ZAMORA

*Grupo de Investigación en Tecnología Enológica
(TECNENOL)*

Departamento de Bioquímica y Biotecnología.

Facultad de Enología de Tarragona.

Universidad Rovira i Virgili.

Se han desarrollado diversas técnicas de vinificación preliminares para suprimir las pepitas, con objeto de evitar que liberen grandes cantidades de proantocianidinas muy astringentes, en especial cuando la uva no está madura. Sin embargo, no se dispone de información científica sobre los efectos de esta práctica. El objeto de esta investigación consiste en estudiar la influencia de la eliminación y el aporte de pepitas sobre el color, la composición fenólica y la astringencia del vino tinto. La eliminación de alrededor del 80% de las pepitas indujo una reducción significativa de la intensidad del color y de la concentración de antocianos. El aporte de pepitas dio origen a vinos con una mayor concentración de antocianos totales, pero no afectó significativamente al color del vino. Estos vinos también presentaban niveles significativamente más altos de proantocianidinas, una mayor proporción de epicatequina-3-galato, un grado medio de polimerización más bajo y, en especial, un aumento espectacular de la astringencia. Los vinos elaborados retirando pepitas, por otra parte, tenían características exactamente opuestas.

III.2.1. Introducción

La composición fenólica es uno de los determinantes principales de la calidad de los vinos tintos. Ciertas propiedades del vino, como el color, el cuerpo y la astringencia están estrechamente relacionadas con su composición de antocianos y proantocianidinas [1-3].

Los antocianos, que son los principales determinantes del color del vino tinto, se extraen de los hollejos de la uva durante el proceso de maceración y fermentación. Durante ese proceso también se extraen otros componentes fenólicos presentes en los hollejos y las pepitas. Entre dichos compuestos, las proantocianidinas, también denominadas taninos condensados, son el determinante principal de las sensaciones de textura como el cuerpo y la astringencia [3, 4]. Al combinarse con los antocianos, las proantocianidinas también contribuyen a la estabilidad del color a largo plazo [2].

La índole de las proantocianidinas depende mucho de su origen. Las proantocianidinas de las pepitas tie-

nen un menor grado medio de polimerización que las proantocianidinas de los hollejos, y están compuestas de (+) catequina, (-) epicatequina y (-) epicatequina-3-galato [5, 6]. Las proantocianidinas de los hollejos, por otra parte, contienen además (-) epigalocatequina y (+) galocatequina, y su proporción de y (-) epicatequina-3-galato es mucho menor [7].

El tamaño molecular y la composición monomérica de las proantocianidinas parecen estar relacionado con la sensación de astringencia: cuanto más altos son tanto el grado de polimerización como el porcentaje de galoilación, mayor es la sensación de astringencia [3, 8, 9].

La madurez es uno de los principales determinantes de la composición fenólica de los tintos [1, 10]. Por lo general, se considera que en las uvas llegadas a su madurez son más extraíbles las proantocianidinas de los hollejos y menos las proantocianidinas de las pepitas [10, 11]. Por lo tanto, generalmente se considera que las uvas que no están bien maduras producen vinos más astringentes, porque sus pepitas pueden liberar mayor cantidad de proantocianidinas, que se galoilan bien.

La emanación de dióxido de carbono durante la fermentación alcohólica induce la formación de un sombrero, es decir que los hollejos y pepitas se sitúan en la parte superior de la cuba. Este fenómeno dificulta la extracción de antocianos y de proantocianidinas.

El mercado actual valora mucho los tintos profundos y con mucho cuerpo. Por ello se han desarrollado muchas técnicas de vinificación para mejorar el color y la extracción de taninos [13]. Las estrategias más corrientes consisten en utilizar enzimas pectinolíticas [14, 15] o hielo seco [16, 17] en aplicar altas temperaturas [18, 19], en prolongar el tiempo de maceración [18, 19], en aumentar el volumen y la frecuencia de remontado y en realizar un bazuqueo o un "delestage" [2, 20]. Sin embargo, en ocasiones estos procedimientos pueden extraer un exceso de compuestos fenólicos, que incrementan la astringencia del vino e inciden en su calidad [21]. Además, en algunos de estos procedimientos, como por ejemplo el bazuqueo y en especial el "delestage", las pepitas caen al fondo de la cuba,



lo cual favorece la disolución de las proantocianidinas de las pepitas.

Por consiguiente, estas técnicas de vinificación pueden ser interesantes para aumentar la extracción de uvas bien maduras, pero pueden ser indeseables si las uvas no están suficientemente maduras. Ahora bien, con el "delestage" también se pueden eliminar las pepitas. Después de cada "delestage", muchas pepitas se precipitan al fondo de la cuba y pueden ser retiradas con el siguiente "delestage". Teóricamente, si se aplica esta técnica una vez al día durante 3 ó 4 días, se puede retirar hasta un 40% de las pepitas totales [22].

Algunos estudios han analizado cómo afecta el aporte de pepitas al color y la composición fenólica de los tintos [19, 23, 25]. No obstante, que sepamos nosotros, ninguno ha analizado la influencia de su eliminación. En este estudio analizamos cómo afecta la eliminación y el aporte de pepitas al color, la composición fenólica y la astringencia del vino tinto.

III.2.2. Materiales y métodos

III.2.2.1. Productos químicos

Compramos metanol para HPLC. Acetonitrilo y ácido fórmico a Merck. También compramos epicatequina, ovalbúmina, ácido tánico, 4 dimetilaminocinamaldehído (DMACH) y polivinilpolipirrolidona (PVVP) a Sigma (St. Louis, MO, Estados Unidos). El resto de los productos químicos eran de una gran pureza y los suministró Panreac (Barcelona, España).

III.2.2.2. Uvas

El estudio se llevó a cabo con *Vitis vinifera* cv cabernet sauvignon. Todas las muestras se produjeron, vendimiaron y el vino se elaboró en el viñedo y la bodega experimentales de la Facultad de Enología de la Universidad Rovira i Virgili de Constantí (Tarragona) en 2003. Las uvas se vendimiaron aleatoriamente el 19 de septiembre. El contenido de azúcar, la acidez total y el pH se determinaron mediante análisis por triplicado, aplicando los métodos analíticos recomendados por la OIV [26]. El contenido de azúcar era de 212,5 g/l (19,7 Brix) y la acidez total (expresada como ácido tartárico) era de 4,7 g/l, y el pH 3,32.

III.2.2.3. Condiciones experimentales

Se llevaron a cabo 12 micro vinificaciones (10 kg de uva) en cubas de 12 l. Las uvas se despallaron, prensaron y sulfataron (1 g de bisulfito de potasio/kg) antes de inocular levaduras comerciales (DV10, Martin Vialatte) conforme a las directrices del fabricante. Los grupos experimentales fueron: de Control Estándar (SC), de Control Delestage (DC), Eliminación de Pepitas (SE) y Adición de Pepitas (SA). Todas las condicio-

nes experimentales se verificaron por triplicado. Los controles de las fermentaciones se llevaron a cabo diariamente, midiendo la temperatura y la densidad. Decidimos que eran necesarios 2 grupos de control. El vino del Control Estándar (SC) se elaboró según los procedimientos tradicionales de vinificación de los tintos. Cada día, se extraían 4 l de mosto/vino y se utilizaban para humedecer el sombrero, con objeto de reproducir un remontado estándar. Las vinificaciones restantes se llevaron a cabo reproduciendo el "delestage" a pequeña escala, de la manera siguiente. Cada día, las cubas se decantaban completamente en un cubo y se mantenía el sombrero en su interior. Luego se devolvía todo el líquido a la cuba, en un intento de disgregar el sombrero. Al igual que el "delestage" a escala industrial, cuando se aplica este procedimiento muchas pepitas se precipitan fondo de la cuba. Al día siguiente, esas pepitas se retiraban con el líquido. Como ya hemos dicho, decidimos que era necesario otro grupo de control (DC), debido a las importantes diferencias existentes entre los procedimientos de vinificación corrientes y el "delestage". En las cubas DC, se reponía el líquido con las pepitas. En las cubas SE, no se devolvían las pepitas a la cuba. Por último, en las cubas SA, se devolvía a la cuba el líquido con sus propias pepitas y también con las pepitas procedentes de las vinificaciones SE. Al cabo de 6 días, una vez terminada la fermentación alcohólica, se suspendieron todos los tratamientos del sombrero y se cerraron las cubas para proteger los vinos contra la oxidación. Después de eso no se realizó ningún tratamiento del sombrero, lo cual permitió que éste se mantuviera flotando sobre el vino hasta el final del periodo de maceración. Dicho periodo de maceración fue de 21 días para todas las cubas.

Posteriormente se sulfataron los vinos (60 mg/l) para evitar la fermentación maloláctica y el desarrollo de microorganismos. Las muestras se conservaron a 4° C hasta la realización de los análisis químicos y sensoriales. Justo antes del análisis químico, se centrifugaron los vinos (10.000 g; 10 min).

III.2.2.4. Estimación de la extracción de las pepitas

Se vendimiaron y pesaron al azar 3 grupos de 100 bayas de uva. Inmediatamente se extrajeron las pepitas, se secaron y pesaron. Se utilizó la proporción del peso de las pepitas sobre el peso total de las bayas para estimar la proporción de pepitas retiradas.

III.2.2.5. Análisis de los antocianos

Los antocianos totales se determinaron utilizando el método descrito por Niketic-Alksic y Hradzina [27]. Los antocianos libres y los polímeros pigmentados se calcularon utilizando el índice PVPP [1]. Los análisis HPLC de los antocianos se llevaron a cabo en un cromatógrafo de líquidos Agilent (1100) y una columna Waters

Spherisorb (ODS2), aplicando el método descrito por González-San José [28]. Las curvas estándar de antocianos se elaboraron utilizando malvidin-3-glucósido (Extrasynthase, Lyon, Francia).

III.2.2.6. Parámetros cromáticos

Se estimaron los componentes amarillo (A420nm), rojo (A520nm) y azul (A620nm) y la intensidad del color (Cl) utilizando el método descrito por Glories [1]. Los parámetros CIELAB de la luminosidad (L^*), cromaticidad, (C^*) tono (H^*), rojez (a^*) y amarillez (b^*) se determinaron conforme a Ayala et al. [29]. La diferencia cromática total (ΔE_{ab}^*) entre las 2 muestras se obtuvo utilizando la expresión:

$$\Delta E_{ab}^* = [(\Delta L^*)^2 + (\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2]^{1/2} \quad [30].$$

III.2.2.7. Otros compuestos fenólicos

El contenido de compuestos fenólicos se determinó midiendo la absorbencia a 280 nm [2], expresada en unidades de absorbencias. Las proantocianidinas totales se estimaron conforme a Ribéreau-Gayon y Stonestreet [31]. El índice DMACH se midió conforme a Ángel y Glories [32].

III.2.2.8. Grado medio de polimerización de las proantocianidinas y porcentaje de unidades monómeras

El grado medio de polimerización de las proantocianidinas (mDP) y el porcentaje de monómeros se midió mediante el análisis HPLC de la solución resultante de floroglucínolisis, según Bouquet et al. [33] En un aparato Genevac, se evaporaron 4 ml de vino y se volvió a solubilizar en 4 ml de agua y un 2% de ácido acético; se fluyeron 2 ml en cartuchos SPE de agua tc18 (500 mg), que previamente se preacondicionaron con 5 ml de agua seguida de 10 ml de metanol y luego con 10ml del primer disolvente: agua-2% ácido acético. Después de aclarar el cartucho con 5 ml de agua, se fluyeron los componentes de interés con 8 ml de metanol. Se evaporó esa fracción. Se puso dicha fracción en reacción con 100 μ l de HCL 0,1 N en metanol que contenía 50 g/l de floroglucinol y 10 g/l de ácido ascórbico (añadido como antioxidante), a 50° C durante 20 min. A continuación se añadió 100 μ l de acetato sódico acuoso (200 mM) para detener la reacción aumentando el pH. La composición de proantocianidinas del vino se determinó por floroglucínolisis después de aislar y calibrar cada uno de los productos de la reacción.

Se analizaron los aductos de floroglucinol mediante HPLC. La columna era una C18 (Atlantis dc 18 agua 4,6 x 250 mm) que ofrecía una mejor retención de los compuestos polares. El método implicaba un gradiente binario, y las fases móviles contenían un 2%

de ácido fórmico en agua (fase A), 1% v/v de ácido acético acuoso (Fase A) y un 2% de ácido fórmico en acetonitrilo/agua (80/20) (Fase B). Se supervisaron los picos de elusión a 280 nm. Las condiciones de elusión fueron de 1,0 ml/min, 0% B durante 5 minutos y un gradiente lineal de 0 a 20% B en 55 min. Luego se lavó la columna con 90% b durante 5 minutos antes de la siguiente inyección. En la misma columna se llevaron a cabo los análisis LC-MS del modo ión positivo ión para identificar los componentes de la reacción.

El grado medio de polimerización se calculó a partir de la suma de todas las unidades (unidades inferiores y superiores) dividiéndola por la suma de las unidades terminales en moles. El porcentaje de cada monómero del polímero se calculó utilizando cada monómero dividido por todos los monómeros y expresado en forma de porcentaje [33, 34, 35].

III.2.2.9. Astringencia

La astringencia se estimó utilizando ovalbúmina como agente de precipitaron, y soluciones de ácido tánico como estándares, conforme al método descrito más arriba [36].

III.2.2.10. Análisis sensorial

Todos los vinos fueron servidos al azar y catados por un grupo de 10 enólogos expertos de la Universidad Rovira i Virgili. Se organizó una sesión de cata previa para homogeneizar criterios. Para cada vino, cada experto evaluó 10 cualidades organolépticas: olfativas (afutado, floral, vegetal, oxidación y especias), y gustativas (cuerpo, sensación en boca, persistencia, amargor y astringencia) sobre una escala de 1 a 10.

III.2.2.11. Estadísticas

Para el análisis químico y del color, todos los datos se expresan como la desviación media estándar + de las 3 repeticiones. Para el análisis sensorial descriptivo, todos los datos se expresan con la mediar aritmética de la desviación estándar +de los 10 expertos catadores. Las comparaciones estadísticas entre valores se realizaron con la prueba monofactor ANOVA y Scheffe utilizando el software SPSS.

III.2.3. Resultados y comentario

No se apreciaron diferencias significativas en la evolución de la densidad y temperatura en las distintas condiciones experimentales. El porcentaje de pepitas con respecto a las uvas fue de 4,8 + 0,6%. Este valor, que se utilizó para estimar el porcentaje de eliminación de pepitas, es acorde con el porcentaje descrito por otros autores [23, 24].

La Tabla1 presenta el peso de las pepitas eliminadas obtenido en las microvinificaciones SE, y el porcenta-



Tabla 1
Porcentaje de extracción de las pepitas

Ve z (días)	Peso de las pepitas suprimidas de SE y añadidas a SA (g)	Estimación del porcentaje de pepitas retirado
0	-	-
1	-	-
2	116,3 + 7,2	24,2
3	101,0 + 9,1	21,0
4	94,5 + 2,5	19,7
5	45,4 + 3,8	9,5
6	25,8 + 2,6	5,4
Total	384,0 + 11,2	79,8

Todos los datos se expresan con la media de las 3 repeticiones + desviación estándar (n=3)

je estimado sobre las pepitas totales. Estos datos demuestran que la eliminación de pepitas fue muy eficaz al principio, pero después se redujo porque cada día quedaban menos pepitas en las cubas. Esto indica claramente que la eliminación de pepitas fue un éxito, puesto que se suprimió casi un 80% de las pepitas de las cubas SE, que se añadieron a las cubas SA. Las cubas SE y las cubas SA contenían pues en torno a un 20% y un 180% de pepitas respectivamente al final del proceso de "delestage". El porcentaje de pepitas retiradas de las cubas SE fue muy superior al 40% descrito por otros autores [28] a escala industrial. A pesar de ello nuestros datos no resultan sorprendentes, porque realizamos micro vinificaciones a muy pequeña escala. En esas condiciones, el sombrero es muy fino y el procedimiento de "delestage" lo disgrega completamente, lo cual favorece la precipitación y retirada de las pepitas.

La Tabla 2 presenta los parámetros de color en las diversas condiciones experimentales. El vino DC tenía una intensidad de color (CI) claramente superior al vino SC. Este CI más alto se debía concretamente a los componentes rojo y amarillo del color. El vino DC también tenía una cromaticidad (C*) y un tono (H*) significativamente superiores, y una luminosidad (L*) significativamente inferior que el vino SC. La diferencia cromática total (ΔE_{ab}^*) entre estos vinos era de 3,55. Por lo general, el ojo humano puede distinguir 2 colores cuando $\Delta E_{ab}^* > 1$ [30]. Ahora bien, por lo general también se acepta que los catadores sólo pueden distinguir el color de 2 vinos a través del cristal de la copa cuando $\Delta E_{ab}^* > 5$ [30]. De hecho, las diferencias que puede distinguir el ojo humano también dependen de la intensidad del color, porque la capacidad de discriminación se vuelve menos precisa cuando la percepción del color alcanza el nivel de saturación. Por lo tanto, en nuestras condiciones experimentales, el "delestage" produjo un vino con un color más intenso ligeramente más evolucionado hacia tonos amarillentos, aunque resulta difícil discriminarlo mediante el análisis sensorial.

Si comparamos el vino SE con el vino DC, observamos una reducción importante de la CI debida a los 3 componentes del color (rojo, amarillo y azul). Los parámetros CIELAB confirmaron esta tendencia: C* y H* eran significativamente inferiores y L* era significativamente superior en el vino SE que en el vino DC. La diferencia cromática total (ΔE_{ab}^*) entre sendos vinos era de 5,96. Por consiguiente, la eliminación de las pepitas induce una disminución del color del vino que fue fácilmente detectada por los catadores. Por otro lado, no se hallaron diferencias significativas en los parámetros de color de los vinos SA y DC. De hecho, ΔE_{ab}^* era muy próximo a 1 [1,39]. Estos resultados indican claramente que la supresión de una elevada proporción de pepitas tiene un efecto nega-

Tabla 2
Parámetros de color

	SC	DC	SE	SA
A420	0.421 ± 0.028 α	0.480 ± 0.005 β, a	0.364 ± 0.002 b	0.455 ± 0.021 a
A520	0.749 ± 0.040 α	0.844 ± 0.025 β, a	0.626 ± 0.007 b	0.824 ± 0.027 a
A620	0.231 ± 0.011 α	0.248 ± 0.005 α, a	0.178 ± 0.005 b	0.230 ± 0.010 a
CI	14.00 ± 0.78 α	15.71 ± 0.35 β, a	11.68 ± 0.12 b	15.09 ± 0.51 a
C*	48.68 ± 0.86 α	50.74 ± 0.77 β, a	46.73 ± 0.27 b	51.65 ± 0.39 a
L*	39.70 ± 1.81 α	36.20 ± 0.69 β, a	46.5 ± 0.56 b	37.5 ± 0.72 a
H*	4.65 ± 1.13 α	6.99 ± 0.56 β, a	4.82 ± 0.49 b	7.61 ± 0.46 a

Todos los datos se expresan con la media de las 3 repeticiones + desviación estándar (n=3). Análisis estadístico: prueba monofactor ANOVA y Scheffe utilizando el software SPSS (en ambos casos, p = 0,05) Las diversas letras indican la existencia de diferencias estadísticamente significativas. Las letras griegas (α , β) se utilizan para comparar la influencia del tratamiento del sombrero. Las letras latinas (a, b, c) se utilizan para comparar la influencia de las pepitas.

Tabla 3
Análisis espectrofotométrico de los antocianos y parámetros relacionados

	SC	DC	SE	SA
Free anthocyanins (mg/l)	71 ± 6 α	113 ± 7 β, a	93 ± 8 b	127 ± 9 c
Combined anthocyanins (mg/l)	217 ± 4 α	213 ± 4 α, a	162 ± 3 b	222 ± 7 a
Total anthocyanins (mg/l)	288 ± 10 α	326 ± 11 β, a	256 ± 11 b	350 ± 4 c

Todos los datos se expresan con la media de las 3 repeticiones + desviación estándar (n=3). Análisis estadístico: prueba monofactor ANOVA y Scheffe utilizando el software SPSS (en ambos casos, p = 0,05) Las diversas letras indican la existencia de diferencias estadísticamente significativas. Las letras griegas (α, β) se utilizan para comparar la influencia del tratamiento del sombrero. Las letras latinas (a, b, c) se utilizan para comparar la influencia de las pepitas.

tivo sobre el color del vino. Por otro lado, el aporte de pepitas no afecta significativamente a la CI. Otros autores han concluido que por lo general, el aporte de pepitas incrementa la CI [19, 24, 24]. Ahora bien, en algunos de estos experimentos no se observó incremento de la CI, o incluso se detectó una disminución de la misma.

Las Tablas 3 y 4 presentan el análisis espectrofotométrico de antocianos y otros parámetros afines y el análisis HPLC de antocianos, respectivamente. Las concentraciones totales de antocianos determinadas mediante espectrofotometría [27] fueron muy superiores a las obtenidas mediante HPLC. Esto se debe a que el análisis espectrofotométrico sobrevalora la concentración total de antocianos porque incluye la contribución de otros pigmentos [37], mientras que el método HPLC sólo detecta los antocianos libres. Además, la conversión de los datos espectrofotométricos en concentración de antocianos es forzosa e imprecisa, pues a la absorbancia contribuyen muchos pigmentos distintos con diferentes coeficientes de extinción. Podemos utilizar el índice PVPP para cuantificar indirectamente tanto los antocianos libres como, mediante una resta, los combinados [1]. Sin embargo, la cuantificación de los antocianos libres según el índice PVPP sobreestima los antocianos libres, pues mide no sólo muchos pigmentos derivados de los antocianos de menor peso molecular (p.e.

vitisina), sino también pequeños aductos falavanol-antocianos. Las distintas formas de expresar los resultados también implican que no son directamente comparables. Por lo tanto, los valores de antocianos libres obtenidos por este método seguían siendo superiores a los obtenidos con HPLC.

Como ilustra la Tabla 3, el vino DC tenía unas concentraciones de antocianos libres y totales significativamente más altas que el vino SC, lo cual confirma que, en nuestras condiciones experimentales, el “delestaje” mejoraba la extracción de estos pigmentos.

El vino SE tenía concentraciones significativamente inferiores de antocianos totales, libres, y en especial combinados que el vino DC. Esto concuerda con la disminución de la CI y confirma que la supresión de las pepitas tiene un efecto negativo sobre el color del vino [39]. El aporte de pepitas (vino SA), por otra parte, incrementaba significativamente las concentraciones de antocianos totales y libres. En este caso, nuestros resultados concuerdan con los de otros autores [19, 23, 24]. El análisis HPLC de antocianos (Tabla 4) confirmó estos resultados.

Aunque los valores obtenidos mediante HPLC fueron distintos de los valores obtenidos por espectrofotometría, las tendencias de concentraciones de antocianos eran similares. El vino DC tenía una concentración

Tabla 4
Concentración de antocianos determinada mediante HPLC

	SC	DC	SE	SA
Antocianidina-3-mnoglicósidos (mg/l)	15.16 ± 0.43 α	17.77 ± 1.82 α, a	14.32 ± 1.14 a	19.80 ± 1.38 b
Antocianos acetilados (mg/l)	10.00 ± 0.11 α	11.63 ± 0.32 β, a	9.56 ± 1.04 b	14.27 ± 0.41 c
Antocianos p-coumaroyl (mg/l)	4.78 ± 0.22 α	5.69 ± 0.31 β, a	3.29 ± 0.29 b	9.08 ± 0.08 c
Antocianos libres (mg/l)	29.95 ± 0.33 α	35.09 ± 1.98 β, a	27.18 ± 2.41 b	43.15 ± 1.72 c

Todos los datos se expresan con la media de las 3 repeticiones + desviación estándar (n=3). Análisis estadístico: prueba monofactor ANOVA y Scheffe utilizando el software SPSS (en ambos casos, p = 0,05) Las diversas letras indican la existencia de diferencias estadísticamente significativas. Las letras griegas (α, β) se utilizan para comparar la influencia del tratamiento del sombrero. Las letras latinas (a, b, c) se utilizan para comparar la influencia de las pepitas.

Tabla 5
Análisis espectrofotométrico de los antocianos y parámetros relacionados

	SC	DC	SE	SA
A280 nm	57.9 ± 4.1 α	66.7 ± 2.5 β, a	43.2 ± 0.9 b	81.9 ± 0.8 c
Proantocianidinas (g/l)	3.77 ± 0.30 α	4.42 ± 0.21 β, a	2.59 ± 0.07 b	5.66 ± 0. c
Índice DMACH	27.2 ± 2.0 α	36.5 ± 1.8 β, a	18.5 ± 3.1 b	52.5 ± 2.6 c
mDP	4.20 ± 0.18 α	3.94 ± 0.13 α, a	6.16 ± 0.02 b	3.26 ± 0.01 c
(+) catequina	19.46 ± 0.47 α	20.32 ± 0.06 α, a	15.75 ± 0.19 b	22.59 ± 0.31 c
(-) epicatequina	57.61 ± 1.10 α	58.33 ± 0.01 α, a	57.44 ± 0.35 b	60.74 ± 0.51 c
(-) epigallocatequina	20.47 ± 0.63 α	19.49 ± 0.43 α, a	25.20 ± 0.5 b	14.51 ± 0.16 c
(-) epicatequina-3-galato	2.07 ± 0.20 α	2.06 ± 0.08 α, a	1.63 ± 0.05 b	2.16 ± 0.04 a
Astringencia (g ácido tánico/l).	0.340 ± 0.008 α	0.370 ± 0.005 β, a	0.217 ± 0.013 b	0.462 ± 0.054 c

Todos los datos se expresan con la media de las 3 repeticiones + desviación estándar (n=3). Análisis estadístico: prueba monofactor ANOVA y Scheffe utilizando el software SPSS (en ambos casos, p = 0,05) Las diversas letras indican la existencia de diferencias estadísticamente significativas. Las letras griegas (α , β) se utilizan para comparar la influencia del tratamiento del sombrero. Las letras latinas (a, b, c) se utilizan para comparar la influencia de las pepitas.

de antocianos libres significativamente superior a la del vino SC. El vino SE tenía una concentración de antocianos libres significativamente inferior, y el vino SA significativamente superior a la del vino DC. Por lo tanto, estos datos confirman asimismo que la presencia de pepitas afecta en gran medida a la concentración final de antocianos en el vino, es decir que la eliminación de las pepitas reduce esta concentración y su aporte la incrementa.

También se observó esta tendencia en los derivados de antocianos monoglicósidos y acetilados y coumaroyl. No obstante las variaciones de la proporción de pepitas afectaban más a los derivados de antocianos coumaroyl que a las demás fracciones restantes de antocianinas. Concretamente, la supresión o adición de pepitas indujo variaciones de en torno a un 50% de los antocianos coumaroyl.

La Tabla 5 presenta los resultados de los compuestos fenólicos totales, las proantocianidinas y otras mediciones afines. El vino DC tiene un total de compuestos fenólicos (A280 nm) y una concentración de proantocianidinas significativamente superior a los del vino SC. El índice DMACH y la astringencia también eran significativamente superiores cuando se practicaba el "delestaje". Dado que el mDP y la composición monomérica de las proantocianidinas de estos 2 vinos eran similares, podemos concluir que los mayores valores de DMACH y astringencia observados en el vino DC se debieron principalmente a un incremento del número de moléculas proantocianidinas.

Una vez más, estos datos confirman que el "delestaje" mejora a extracción fenólica total, al menos en nuestras condiciones experimentales. Queda claro que el "delestaje" es un tratamiento del sombrero más potente que otros. Ahora bien, el "delestaje"

también provoca la precipitación de un mayor número de pepitas al fondo de la cuba, lo cual favorece una mayor extracción de sus componentes, en especial de las proantocianidinas. Estos datos confirman asimismo que, debido al riesgo de extraer un exceso de astringencia, puede resultar inadecuado practicar el "delestaje" sin retirar pepitas cuando la uva no está suficientemente madura.

Por otro lado, la retirada o el aporte de pepitas influyeron en gran medida en la concentración total de compuestos fenólicos. Los compuestos fenólicos totales (A280 nm), y en especial las proantocianidinas (medidas por floroglucinólisis) disminuyeron drásticamente cuando se retiraron pepitas, y aumentaron considerablemente cuando se añadieron pepitas suplementarias. Se ha descrito que las proantocianidinas ejercen un efecto protector contra la oxidación de las antocianidinas [40] Por consiguiente, este dato puede explicar el motivo por el cual la presencia de pepitas afecta mucho a la concentración final de antocianos en el vino.

El vino SE tenía un mDP considerablemente superior al del vino DC. Esto concuerda con el hecho de que las proantocianidinas de los hollejos tenían un mDP más alto que las proantocianidinas de las pepitas [6, 8, 11, 41]. Por lo tanto, la retirada de las pepitas no sólo afecta a las concentraciones totales de proantocianidinas, sino también a su mDP. El vino SA presentaba exactamente el efecto contrario al del vino SE: las pepitas adicionales contribuyen a las proantocianidinas, con un menor mDP [19, 23].

Simultáneamente, la supresión o añadido de pepitas modificó significativamente el índice DMACH. El DMACH reacciona con las unidades que catequiza de los extremos de las proantocianidinas. Por lo tanto,

Tabla 6
Análisis sensorial

	SC	DC	SE	SA
Análisis olfativo				
Floral	3.01 ± 0.85 α	3.6 ± 0.52 α, a	4.0 ± 0.75 a	4.1 ± 0.94 a
Afrutado	3.3 ± 0.82 α	3.75 ± 0.97 α, a	4.28 ± 0.87 a	4.95 ± 1.02 a
Vegetal	1.99 ± 0.47 α	2.94 ± 0.56 α, a	1.96 ± 0.48 a	2.29 ± 0.49 a
Oxidación	1.87 ± 0.56 α	2.37 ± 0.67 α, a	2.64 ± 0.99 a	0.88 ± 0.30 b
Espicias	1.75 ± 0.25 α	1.70 ± 0.30 α, a	1.93 ± 0.44 a	2.23 ± 0.73 a
Análisis gustativo				
Sensación en boca	4.33 ± 0.33 α	3.79 ± 0.85 α, ab	3.28 ± 0.46 a	4.67 ± 0.55 b
Cuerpo	4.0 ± 0.67 α	6.04 ± 0.78 β, a	2.84 ± 0.41 b	7.3 ± 0.78 c
Astringencia	2.48 ± 0.61 α	5.50 ± 0.77 β, a	1.84 ± 0.45 b	7.27 ± 0.55 c
Amargor	1.94 ± 0.41 α	2.67 ± 0.33 β, a	1.69 ± 0.56 b	3.22 ± 0.55 a
Persistencia	2.5 ± 0.50 α	2.8 ± 0.60 β, a	2.80 ± 0.50 a	3.10 ± 0.40 a

Todos los datos se expresan con la media de las 3 repeticiones + desviación estándar (n=3). Análisis estadístico: prueba monofactor ANOVA y Scheffe utilizando el software SPSS (en ambos casos, p = 0,05) Las diversas letras indican la existencia de diferencias estadísticamente significativas. Las letras griegas (α , β) se utilizan para comparar la influencia del tratamiento del sombrero. Las letras latinas (a, b, c) se utilizan para comparar la influencia de las pepitas.

las variaciones de este índice se pueden atribuir no sólo a los cambios de concentraciones de proantocianidinas, sino también a las variaciones de la longitud de la cadena, como confirman los valores mDP obtenidos. La disminución de las proantocianidinas y el incremento de la extensión media de los polímeros de proantocianidina en los vinos SE causan una disminución del índice DMACH próxima al 50%. Del mismo modo, el índice DMACH aumenta en torno a un 40% cuando se añaden pepitas.

El vino SE también tenía una composición monomérica bastante distinta de la del vino DC. El porcentaje de (+)catequina y (-)epicatequina-3-galato eran significativamente inferiores, y el porcentaje de (-)epigallocatequina era significativamente superior cuando se suprimían pepitas. Los datos concuerdan con el hecho de que las proantocianidinas de las pepitas no presentan (-)epigallocatequina [8, 13, 41] y con el hecho de que las proantocianidinas de los hollejos sólo presentan trazas de (-)epicatequina-3-galato [7, 8]. Por lo tanto, las pepitas adicionales contribuyen a las proantocianidinas con una mayor proporción de (-)epicatequina-3-galato.

La eliminación de pepitas también afectó claramente a la astringencia. Evidentemente, la astringencia depende no sólo de la concentración total de proantocianidinas, sino también de su mDP y de su composición monomérica [3, 8]. Concretamente, el vino SE tenía una astringencia significativamente menor (41%) que el vino DC. Como el vino SE tenía un mDP más alto, sus proantocianidinas deberían ser más astringentes [3, 8]. Sin embargo, la menor proporción de unidades

galoiladas y en especial la reducción considerable de las proantocianidinas totales tenían un efecto opuesto que parece prevalecer. Del mismo modo, la astringencia también aumentaba con el aporte de pepitas adicionales [25].

La Tabla 6 presenta los resultados del análisis sensorial de los vinos. No se apreciaron diferencias entre los vinos SC y DC en ninguno de sus atributos olfativos. Por otra parte, el vino DC tenía significativamente más cuerpo, astringencia, amargor y persistencia que el vino SC. Estos datos concuerdan con nuestros resultados analíticos y confirman el incremento de la extracción de compuestos fenólicos totales producida por la aplicación del "delestaje" en nuestras condiciones experimentales.

La eliminación de pepitas no indujo ningún cambio en los atributos olfativos del vino, mientras que la adición de pepitas causó una reducción significativa sólo en la percepción olfativa de la oxidación. En cambio, la supresión y el aporte de pepitas tuvieron efectos muy claros sobre los atributos gustativos del vino. Concretamente, la supresión de pepitas redujo considerablemente el cuerpo, la astringencia y el amargor de los vinos, mientras que el aporte de pepitas incrementó su cuerpo y su astringencia. En términos generales, los datos sensoriales vienen a confirmar todos nuestros datos analíticos previos y concuerdan con los escasos resultados existentes sobre este asunto [22, 39].

Podemos concluir que la supresión y el aporte de pepitas afectan considerablemente al color, a la compo-

sición de los compuestos fenólicos y a la astringencia del vino. Por lo general, la supresión de pepitas reduce la concentración de proantocianidinas, incrementa el mDP, y afecta mucho a su composición monomérica. Estos cambios inducen una clara disminución del cuerpo, el amargor y, en especial, la astringencia. Por otra parte, el aporte de pepitas produce exactamente el efecto opuesto, y puede provocar que los vinos sean demasiado astringentes.

La supresión de pepitas puede constituir una técnica interesante para reducir la astringencia del vino. Sin embargo, hay que tener presente que la supresión de las pepitas también afecta al color del vino y a la composición de los antocianos. El "delestaje" con la supresión de pepitas sólo se recomienda por lo tanto para vinificar uvas que no están completamente maduras, pero cuya concentración de antocianos es suficientemente elevada como para garantizar un color tinto adecuado.

Agradecimientos Agradecemos el apoyo financiero de CICYT (AGL 2001-0716 y AGL 2004-02309) y al Departament d'universitats, Recerca i Societat de la Informació de la Generalitat de Catalunya i del Fons Social Europeu.

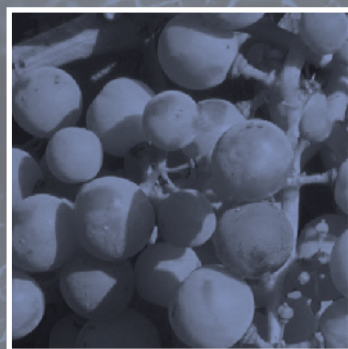
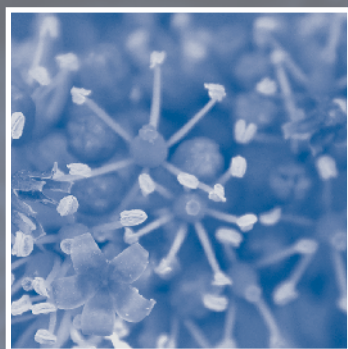
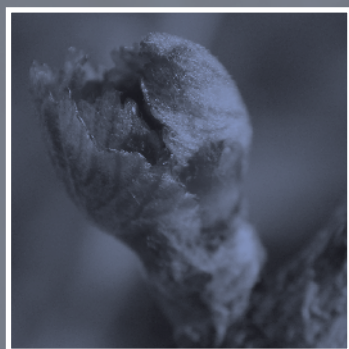
III.2.4. Referencias bibliográficas

- Glories Y (1984)** *Connais Vigne Vin* 18:195–217
- Ribéreau-Gayon P, Glories Y, Maujean A, Dubourdiou D (2000)** *Handbook of Enology*. Wiley, Chichester, pp 129–185
- Vidal S, Francis L, Guyot S, Marnet N, Kwiatkowski M, Gawel R, Cheynier V, Waters E (2003)** *J Sci Food Agric* 83(6):564–573
- Gawel R (1998)** *Aust J Grape Wine R* 4:74–95
- Prieur C, Rigaud J, Cheynier V, Moutounet M (1994)** *Phytochemistry* 36:781–784
- Geny L, Saucier C, Bracco S, Daviaud F, Glories Y (2003)** *J Agric. Food Chem* 51:8051–8054
- Souquet JM, Cheynier V, Brossaud F, Moutounet M (1996)** *Phytochemistry* 43:509–512
- Moutounet M, Fulcrand H, Sarni-Manchado P, Souquet JM, Atanasova, V, Labarbe B, Maury C, Vidal S, Cheynier V (2002)**. 13eeme Symposium International d'Oenologie. *Montpellier*, pp737–747
- Vidal S, Francis L, Noble A, Kwiatkowski M, Cheynier V, Waters E (2004)** *Anal Chim Acta* 513:57–65
- Canals R, Llaudy MC, Valls J, Canals JM, Zamora F (2005)** *J AgricFood Chem* 53:4019–4025
- Gonzalez-Manzano S, Rivas-Gonzalo JC, Santos-Buelga C (2004)** *Anal Chim Acta* 513:283–289
- Freitas VAP, Glories Y, Monique A (2000)** *Am J Enol Vitic*51(4):397–403
- Karna L, Sacchi L, Bisson F, Adams D (2005)** *Am J Enol Vitic*56(3):197–206
- Pardo F, Salinas MR, Alonso GL, Navarro G, Huerta MD (1999)** *Food Chem* 67:135–142
- Wightman JD, Price SF, Watson BT, Wrolstad RE (1997)** *Am JEnol Vitic* 48:39–48
- Couasnon MB (1999)** *Rev Oenol* 92:26–30
- Feuillat M (1997)** *Rev Oenol* 82:29–31
- Timberlake CF, Bridle P (1976)** *Vitis* 15:37–49
- Kovac V, Alonso E, Bourzeix M, Revilla E (1992)** *Am J Enol Vitic* 40:1953–1957
- Zamora F (2003)** *Elaboración y crianza del vino tinto. Aspectos científicos y prácticos. AMV ediciones.*
- Bertuccioli M, Zini S, Siliani A, Picchi M (2002)** *Ind Bevande* 180:350–356
- Leahy R (2000)** *Vineyard Winery* 26:63–69
- Kovac V, Alonso E, Revilla E (1995)** *Am J Enol Vitic* 46(3):363–367
- Revilla E, Ryan JM, Kovac V, Nemanic J (1998)** *Food Flavours: formation, analysis and packaging in Xuences* 583–596
- Mateus N, Pinto R, Ruao P, Freitas V (2004)** *Food Chem* 84:195–200
- O. I.V. (1990)** *Le recueil des méthodes internationales d'analyse des vins et des moûts*. Ed O.I.V. Paris
- Niketic-Aleksic GK, Hrazdrina G (1972)** *Lebensmittel-Wissenschaft Technol* 5(5):163–165
- González-SanJosé M, Diez C, Santa María G, Garrido JL (1988)** *An Quím* 84:290–293
- Ayala F, Echávarri JF, Negueruela AI (1997)** *Am J Enol Vitic* 48:357–363
- Pérez-Magariño S, González-SanJosé ML (2003)** *Food Chem* 81:301–306
- Ribéreau-Gayon J, Stonestreet E (1966)** *Chim Anal* 48:188–196
- Nagel CW, Glories Y (1991)** *Am J Enol Vitic* 42:364–366

32. **Souquet JM, Mazauric JP, Meudec E, Preys S, Morel-Salmi C, Cheynier V (2004)** XXII International conference on polyphenols. Helsinki, Finland. pp 693–694
33. **Kennedy J, Jones GP (2001)** *J Agric Food Chem* 49:1740–1746
34. **Rigaud J, Perez-Illzarbe X (1991)** *J Chromatogr* 540:401–405
35. **Llaudy MC, Canals R, Canals JM, Rozès N, Arola LI, Zamora F (2004)** *J Agric Food Chem* 52:742–746
36. **Santos-Buelga C, Williamson G (2003)** Methods in polyphenol análisis. Analysis of anthocyanins. *The Royal Society of Chemistry, UK*, pp 338–358
37. **Bosso A, Panero L, Guaita M, Marulli C (2001)** *L'Enologo* 87–96 40. Fulcrand H, Dueñas M, Salas E, Cheynier V (2006) *Am J Enol Vitic* 57(3):289–297
38. **Souquet JM, Cheynier V, MoutounetM (2000)** *Bull l'O.I.V.* 73:601–609
37. Rivas-Gonzalo JC, Gutierrez Y, Hebrero E, Santos



III.3. Influencia de la etapa de maduración y del tiempo de maceración en la contribución de hollejos, pepitas y rabillos en la composición fenólica y en la astringencia en maceraciones de vino simuladas



223	III.3.1. Introducción
224	III.3.2. Materiales y métodos
225	III.3.3. Resultados y análisis
228	III.3.4. Referencias bibliográficas



María del Carmen LLAUDY

Roser CANALS

Joan Miquel CANALS

Fernando ZAMORA

*Grupo de Investigación en Tecnología Enológica
(TECNENOL)*

Departamento de Bioquímica y Biotecnología.

Facultad de Enología de Tarragona.

Universidad Rovira i Virgili.

Este trabajo estudia la influencia de la etapa de maduración y del tiempo de maceración (1-23 días) en la contribución de cada componente del racimo de la uva a la composición fenólica y a la astringencia en maceraciones de vino simuladas. En términos generales, la extracción de proantocianinas de los hollejos, rabillos y sobre todo de las pepitas, aumentó con la maceración. La etapa de maduración también tuvo gran influencia en la extracción de taninos y en la astringencia. La contribución de taninos procedentes de los hollejos y los rabillos aumentó con la maduración, pero la contribución aportada por las pepitas disminuyó. La contribución a la astringencia de todos los componentes del racimo fue claramente mayor cuando las uvas no estaban maduras. El grado medio de polimerización de los taninos procedentes de los componentes del hollejo y la pepita no se vio afectado por la maduración ni por el tiempo de maceración.

III.3.1. Introducción

La composición de los compuestos fenólicos en el vino tinto es uno de los determinantes principales de su calidad. Algunas propiedades organolépticas como el color, el cuerpo y la astringencia están directamente relacionados con la composición de antocianos y proantocianinas (1-4).

Los antocianos sólo están presentes en los hollejos de las uvas, mientras que las proantocianinas, también conocidas como taninos condensados, están presentes en los hollejos, las pepitas y los rabillos (5-9). La índole de las proantocianinas depende mucho de su origen. Las proantocianinas procedentes de la pepita consisten en (+) catequina, (-) epicatequina y (-) epicatequina-3-galato (10,11), mientras que las proantocianinas del hollejo también contienen (-) epigalocatequina y una proporción mucho menor de (-) epicatequina-3-galato (12,13). Las proantocianinas del rabillo constan de 4 monómeros: (+) catequina, (-) epicatequina, (-) epicatequina-3-galato y (-) epigalocatequina (14,15).

Se ha demostrado que las proantocianinas de la pepita presentan un nivel medio de polimerización (mDP)

más bajo que las proantocianinas del hollejo (14,16). Según Souquet et al. (14) el mDP de las proantocianinas del rabillo es similar al de las proantocianinas de la pepita. Otros autores, sin embargo, han hallado que es más alto (15) y algunos han hallado que es aún más alto que aquel de las proantocianinas del hollejo (17).

Los tamaños de las moléculas, y sobre todo la composición monomérica de las proantocianinas, tienen mucha influencia en la sensación de astringencia. Más concretamente, el mayor grado de polimerización y el mayor porcentaje de galoilación, provocarán una mayor sensación de astringencia (18-20).

Generalmente se considera que la maduración influye mucho en la composición fenólica de los vinos tintos (21,22). Se ha demostrado, por ejemplo, que las uvas incompletamente maduras tienen una menor extractabilidad de antocianos y proantocianinas de los hollejos y una mayor extractabilidad de proantocianinas de las pepitas (23, 24). Por esta razón, generalmente se considera que las uvas inmaduras pueden producir vinos más astringentes ya que sus pepitas pueden desprender una mayor cantidad de proantocianinas altamente galoiladas (25). También se ha informado de que los rabillos pueden desprender proantocianinas altamente astringentes, herbáceas y amargas (26, 27). Por esta razón, en la elaboración del vino tinto, normalmente se despalillan las uvas. Además de los descritos arriba, los argumentos para retirar los rabillos son que su presencia reduce el contenido de alcohol y el color, y que ocupa un valioso espacio en la cuba.

No obstante, en los procesos de vinificación aplicados en ciertas regiones, como por ejemplo Côte du Rhône o Burdeos, los rabillos se conservan parcial o totalmente. Sin duda la razón principal de este modo de proceder reside en la tradición. Sin embargo, algunos elaboradores sostienen que en ocasiones, la presencia de rabillos puede tener efectos positivos (17, 30, 31). La conservación de los rabillos produce vinos con una mayor concentración de proantocianinas, lo cual ayuda a estabilizar el color y mejora el cuerpo del vino. Evidentemente, los rabillos desprenden directamen-

te una cantidad no desdeñable de proantocianinas (32, 33) y favorecen la extracción de los hollejos y las pepitas, ya que dejan el capuchón menos compacto (30).

Numerosos estudios han investigado las variaciones de la composición de las proantocianinas y los antocianos durante el desarrollo de la baya relacionadas con factores agroecológicos como el clima, los varietales, las condiciones de riego y del suelo, (21, 34-37). Otros estudios se han centrado en la extracción de antocianos y proantocianinas desde el punto de vista del tiempo de maceración (38-41) y otros, en los cambios experimentados por las proantocianinas durante la maduración (11, 25, 33, 42-45). Sin embargo, la influencia de la etapa de maduración en la facilidad de extracción de estos compuestos sólo se ha descrito muy rara vez. Que nosotros sepamos, únicamente lo ha hecho nuestro estudio anterior (24).

El objeto de este trabajo consiste en estudiar cómo afecta el tiempo de maceración al color, a la composición fenólica de los compuestos y a la astringencia en función de las diversas etapas de la maduración de la baya, además de analizar la contribución de los distintos componentes del racimo de la uva: los hollejos, las pepitas y los rabillos.

III.3.2. Materiales y métodos

III.3.2.1. Materiales y muestras

(-) Epicatequina, ovoalbumina y p-dimetilaminocinamaldehído (DMACH) se compraron en Sigma (Madrid, España). Los productos químicos restantes eran de gran pureza y los suministró Panreac (Barcelona, España).

Uvas

Este estudio se llevó a cabo sobre *Vitis vinifera* cv. cabernet sauvignon, de Gratallops, D.O. Priorato, durante los meses de agosto y septiembre de 2005. Se recolectaron al azar aproximadamente unas 2000 uvas el 1 de agosto, el 29 de agosto y el 19 de septiembre, es decir al cabo de 1, 5 y 8 semanas después del envero respectivamente. Para obtener muestras al azar, y para evitar coger uvas de la misma viña en los distintos días de recogida de muestras, se marcaron en orden una viña de cada tres del viñedo. La primera muestra se recogió solamente de las viñas marcadas. La segunda muestra se recogió de la viña situada inmediatamente después de la marcada. La tercera muestra se recogió de las viñas que quedaban. Las uvas también se seleccionaron al azar dentro de la viña para asegurar una distribución homogénea entre las uvas que habían sido expuestas al sol en mayor

o menor medida. Se recogieron 3 uvas al azar de cada racimo: se cogió una de la parte superior, otra de la parte inferior, y otra del centro del racimo.

Se tuvo especial cuidado en obtener una misma distribución entre las bayas de dentro y las de fuera del racimo. Se seleccionaron al azar un centenar de bayas de uva, se pesaron y se utilizaron para determinar el contenido en azúcar, la acidez total y el pH de acuerdo con los métodos analíticos recomendados por la OIV (46). La concentración de azúcar se midió utilizando un refractómetro (refractómetros Fabre, Sarl Germain, Francia). La acidez total se midió por valoración utilizando NaOH 0,1 N (Panreac, Barcelona, España) y Bromothymol azul como indicador. El pH se midió utilizando un medidor de pH (micropH 2002, Crison, Barcelona, España).

Simultáneamente, en cada etapa de maduración, se vendimiaron 60 racimos para determinar los pesos por racimo y rabillo y el número de uvas por racimo. Los racimos de la primera etapa de maduración se escogieron al azar de las viñas marcadas. Los racimos de la segunda etapa de maduración se vendimiaron al azar de las viñas situadas inmediatamente después de las viñas marcadas. Finalmente, los racimos de la tercera etapa de maduración se vendimiaron al azar de las viñas restantes.

Condiciones de maceración

Se utilizaron 24 grupos de 100 uvas escogidas al azar para cada etapa de maduración. Los hollejos y las pepitas se separaron manualmente de la pulpa y se introdujeron en frascos independientes. Para poder reproducir unas condiciones de maceración idénticas a las de los hollejos y las pepitas, se introdujo asimismo el peso proporcional de los rabillos correspondiente a 100 uvas en frascos que contenían 100 mL de diversas soluciones sintéticas.

Todas las soluciones sintéticas contenían 4 g L⁻¹ de ácido tartárico y se ajustaron con hidróxido de sodio a pH 3.5. En función del tiempo de maceración seleccionado, se utilizaron las siguientes concentraciones alcohólicas: día 1 (0%), día 2 (2%), día 3 (4%), día 4 (8%), días 8-23 (13%) para reproducir la evolución de fermentación alcohólica. En todos los casos, se añadió metabisulfito de potasio (80 mg L⁻¹) para proteger los componentes fenólicos contra la oxidación y para reproducir las condiciones reales de viticultura. También se añadió fluoruro de sodio (1 g L⁻¹) para inhibir el desarrollo de microorganismos. Todos los frascos se cerraron herméticamente, se protegieron contra la oxidación con dióxido de carbono y se conservaron a oscuras a 28 °C durante el experimento. Las muestras de maceración fueron sometidas a extracción, centrifugado, y luego se utilizaron para las determinaciones analíticas.

III.3.2.2. Métodos

Análisis de antocianos

Se determinó el recuento total de antocianos mediante el método descrito por Niketic-Alksic y Hrazdina (47).

Componentes fenólicos totales (IPT)

Los niveles de componentes fenólicos se determinaron midiendo la absorción en 280 nm.

Proantocianinas

El número total de PA (g L⁻¹) se estimó conforme al método Ribéreau-Gayon y Stonestreet, 1966 (48).

Grado medio de polimerización de proantocianinas

Se prepararon compuestos de (-) Epicatequina (0.0-5.0 g L⁻¹) utilizando un compuesto sintético con un 12.5% de contenido en etanol. Se utilizaron todas las muestras y los compuestos estándares de (-) epicatequina para índice de estimación DMACH medidos de acuerdo a Nagel y Glories (49). El p-dimetilaminoacetaldehído reacciona con los extremos de los polímeros de flavanol dando aductos que presentan su máxima absorción en 640 nm. El índice DMACH obtenido para la concentración de (-) epicatequina equivalente a las proantocianinas de una muestra, dividido por su índice real de DMACH puede dar entonces una idea del nivel medio de polimerización de proantocianinas (50).

Astringencia

Se calculó la astringencia utilizando ovoalbúmina como agente de precipitación y soluciones ácidas de taninos como valores estándares conforme al método descrito más arriba (51).

Estadísticas

Todos los datos están expresados como la media aritmética (desviación estándar de tres copias). El bifactor ANOVA y el test de Scheffe se llevaron a cabo con software SPSS.

III.3.3. Resultados y análisis

La Tabla 1 resume los parámetros físicos y químicos de las uvas durante el proceso de maduración. El peso de 100 bayas, racimos y rabillos, el contenido en azúcar, la acidez total y el pH mostraron el comportamiento habitual durante la maduración y confirmaron que los niveles de maduración de las muestras seleccionadas eran significativamente diferentes.

La Figura 1 muestra la influencia del tiempo de maceración en la concentración de antocianos en las diferentes etapas de maduración. En todas las etapas, la concentración de antocianos aumentó durante los primeros 3-4 días de maceración y luego se estabilizó.

Estos datos coinciden con aquellos de otros estudios (38,-41) y confirman la ya descrita influencia de la maduración en la extractabilidad de antocianos (21, 24, 52), a mayor grado de maduración, más extracción de antocianos.

Tabla 1
Evolución de los parámetros de la uva durante la maduración

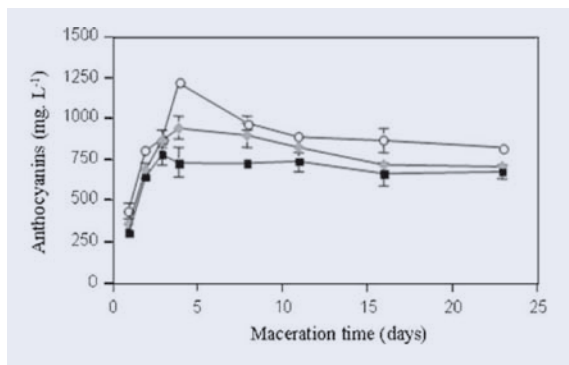
	Etapas de maduración (semanas tras el envero)		
	1	5	8
Peso de 100 bayas (g)	80.77 ± 5.01 A	101.60 ± 11.40 B	109.42 ± 10.73 B
Peso de los racimos (g)	128.70 ± 6.39 A	168.42 ± 19.18 B	179.20 ± 2.81 B
Peso de los rabillos (g)	8.13 ± 2.01 A	10.36 ± 4.42 A	9.10 ± 1.81 A
Bayas en racimo	151.6 ± 23.9 A	141.5 ± 10.8A	146.8 ± 15.0 A
Contenido en azúcar (g L ⁻¹)	156.6 ± 1.8 A	239.7 ± 1.9 B	268.6 ± 8.6 C
Contenido en azúcar (°Brix)	15.6 ± 0.2 A	23.9 ± 0.2 B	26.7 ± 0.9 C
Valor de alcohol potencial (%)	9.2 ± 0.1 A	14.1 ± 0.1 B	15.8 ± 0.5 C
Acidez total (g L ⁻¹) ^a	6.52 ± 0.40 A	5.75 ± 0.23 B	4.88 ± 0.60 C
pH	2.85 ± 0.09 A	3.15 ± 0.01 B	3.26 ± 0.16 B

Todos los datos están expresados como valores medios de 3 repeticiones + desviación estándar

Análisis estadístico: monofactor ANOVA y test de Scheffe (ambos $p = 0.05$). Letras diferentes indican diferencias estadísticas

^a La acidez total se expresa como ácido tartárico

Figura 1
Influencia del tiempo de maceración simulado en la concentración de antocianos en distintas etapas de la maduración

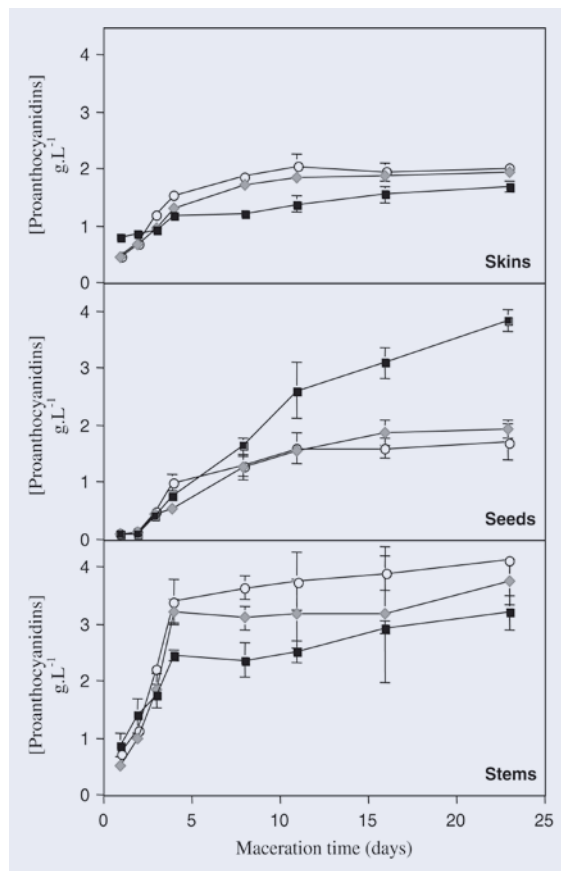


La Figura 2 ilustra la influencia del tiempo de maceración de los hollejos, pepitas y rabillos en la concentración de proantocianinas en distintas etapas de maduración. Generalmente, la concentración de proantocianinas de los hollejos, pepitas y rabillos aumentó con el tiempo de maceración en todas las condiciones experimentales. No obstante, la concentración procedente de los hollejos y rabillos se mantuvo estable tras 4-5 días de maceración mientras, que la de las pepitas siguió aumentando trascurrido ese tiempo, sobre todo en el caso de las pepitas procedentes de uvas menos maduras. Estos datos coinciden con los de González Manzano et al., 2004 (13) por lo que se refiere al comportamiento de las pepitas y los hollejos. Que nosotros sepamos, en la bibliografía no existen datos sobre la solución sintética de proantocianinas de los rabillos. En la vinificación realizada en contacto con los rabillos, Spranger et al., 2004 (53) observaron los niveles más altos de proantocianinas el día 7 de la maceración, lo cual coincide con nuestros resultados en una media sintética.

Estos resultados también indican que la maduración tiene una gran influencia en la extracción de proantocianinas a partir de todos los componentes del racimo. Por lo general, los hollejos y los rabillos desprenden mayores cantidades de proantocianinas cuando las uvas están más maduras, mientras que las pepitas se comportan de forma opuesta.

La Figura 3 ilustra la influencia del tiempo de maceración de los hollejos, pepitas y rabillos en el mDP de las proantocianinas extraídas en diferentes etapas de la maduración. Nuestros resultados indican que las proantocianinas extraídas de la pepita tenían un mDP de alrededor de 3, las proantocianinas extraídas del hollejo tenían un mDP de entre 4 y 6, y las proantocianinas extraídas del rabillo tenían un mDP de entre 4 y 9. El mDP observados por nosotros en las pepitas y los hollejos fueron algo más bajos que los indicados en las fuentes documentales (14, 16). Además, existe cierta controversia sobre el mDP de las proantocianinas del rabillo. Souquet et al., 2000 (14) hallaron que

Figura 2
Influencia del tiempo de maceración simulada en la concentración de proantocianinas en distintas etapas de la maduración

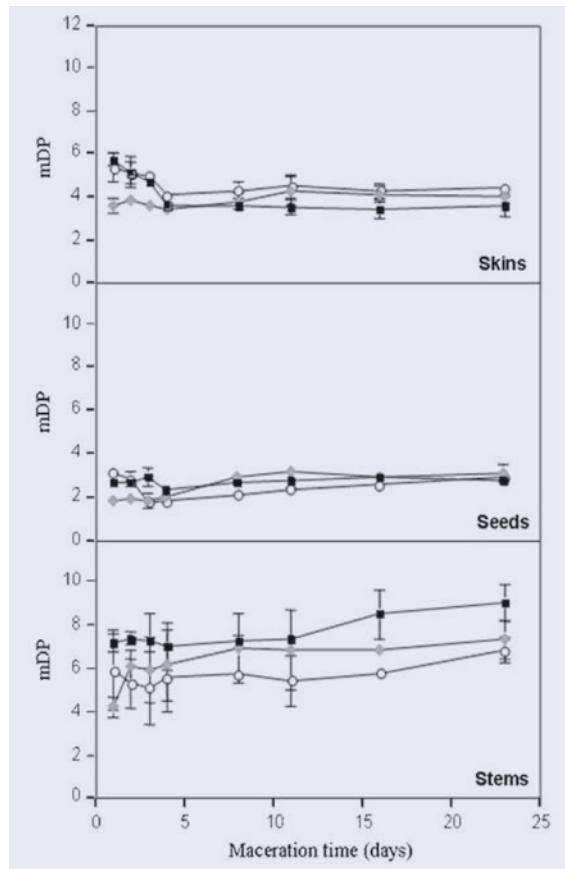


el mDP de las proantocianinas del rabillo es similar a los de las proantocianinas de la pepita. Otros autores afirmaron que es más alto que el de las proantocianinas de la pepita (15) e incluso más alto que el de las proantocianinas del hollejo (17), cosa que concuerda con nuestros resultados.

Los estudios reseñados más arriba se llevaron a cabo utilizando disolventes orgánicos para extraer todas las proantocianinas presentes en los componentes de estos racimos, mientras que nuestro estudio se llevó a cabo simulando las condiciones de vinificación. Los disolventes orgánicos pueden ser útiles para estudiar cómo la composición de compuesto fenólico de todos los componentes del racimo cambia durante el proceso de maduración. Por el contrario, no son directamente aplicables para estudiar cómo se extraen estos componentes durante la vinificación, ya que pueden sobrevalorar los resultados (13). Además, aplicar métodos agresivos puede extraer proantocianinas con un mayor grado de polimerización que el de las que se encuentran realmente en el vino (24).

Algunos estudios han demostrado que el mDP de las proantocianinas de los hollejos (11), pepitas (25, 24) y rabillos aumenta (33, 44) durante el proceso de maduración. Nuestros resultados no observaron una

Figura 3
Influencia del tiempo de maceración simulada en el grado medio de polimerización de proantocianinas en distintas etapas de la maduración

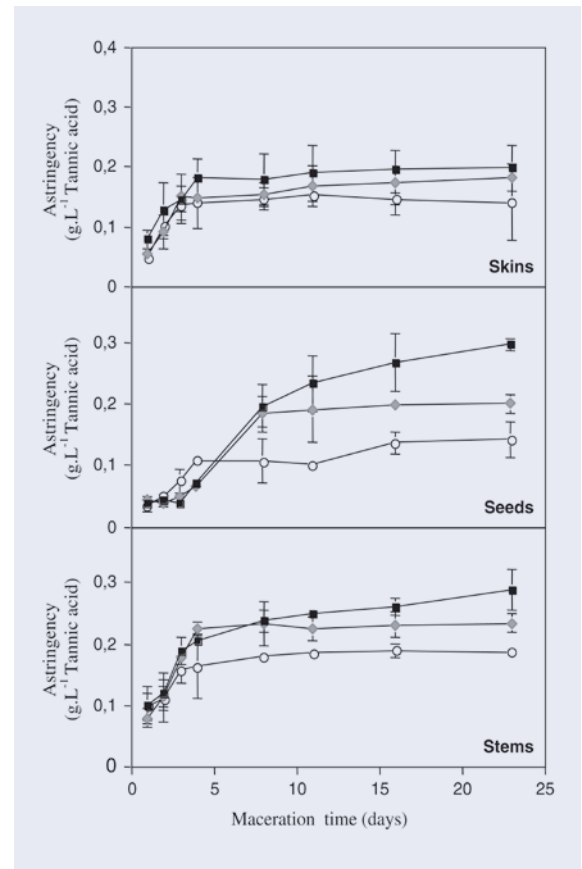


tendencia clara en este sentido para los hollejos y las pepitas, y el mDP de las proantocianinas del rabllo disminuyó ligeramente. Probablemente se deba a que nuestras condiciones de extracción experimental eran menos fuertes que las de los autores citados anteriormente. Si el mDP realmente se incrementa durante la maduración de la uva, la solubilidad de los polímeros de gran tamaño se debería reducir en condiciones enológicas simuladas.

Por otro lado, el tiempo de maceración no afectó al mDP de las proantocianinas de todos los componentes del racimo.

La Figura 4 ilustra la influencia del tiempo de maceración en la astringencia en diferentes etapas de maduración para todos los componentes del racimo. Generalmente, la astringencia de los hollejos, pepitas y rabllos aumentó con el tiempo de maceración en todas las condiciones experimentales. Igual que ocurrió con la extracción de proantocianinas, la astringencia de los hollejos y las pepitas aumentó durante los primeros 4-5 días y luego se mantuvo estable, mientras que la astringencia de las pepitas siguió aumentando trascurrido ese plazo de tiempo, sobre todo en las pepitas procedentes de las uvas menos maduras.

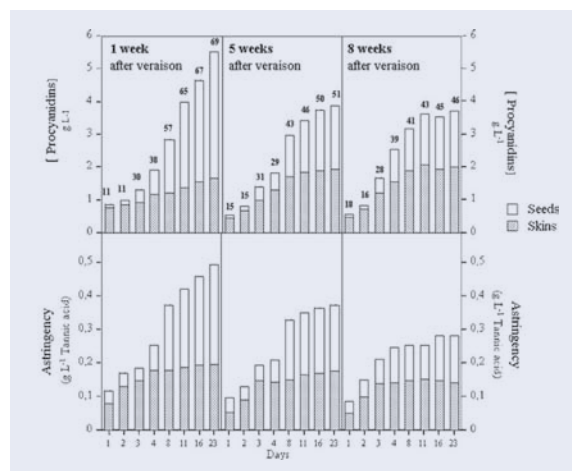
Figura 4
Influencia del tiempo de maceración simulado en la astringencia en distintas etapas de la maduración



Por lo general, la maduración tuvo una gran influencia en la astringencia de todos los componentes del racimo – a mayor grado de maduración, menor astringencia. Este comportamiento es más acusado en el caso de las pepitas. En el caso de las pepitas existe un paralelismo entre la liberación de proantocianinas y la astringencia final – cuanto mayor es la concentración de proantocianinas, mayor es la astringencia. En el caso de los hollejos y los rabllos, sin embargo, no existe relación directa – la liberación de proantocianinas se incrementa con la maduración, pero la astringencia disminuye simultáneamente.

Una posible explicación del fenómeno en el caso de las pepitas y los rabllos podría residir en los cambios del mDP de la proantocianina observados durante la maduración. Dado que el mDP de las pepitas no varió durante la maduración, la astringencia solamente dependió de la cantidad de proantocianinas extraída. Estos datos concuerdan con los de Kennedy et al. (42), quien también observó que el mDP de las proantocianinas extraídas de las pepitas no varió durante la maduración. Por otro lado, el mDP de los rabllos disminuyó durante la maduración, lo cual hizo que la extracción media fuera menos astringente e incluso contuviera una mayor concentración de proantocianinas.

Figura 5
Relación de los niveles de astringencia con la concentración de proantocianinas de los hollejos y las pepitas en distintas etapas de la maduración y en tiempos de maceración simulados



Otra explicación de los resultados obtenidos puede residir en el hecho de que el mDP en realidad es un promedio del grado de polimerización, pero no representa el porcentaje de las diversas fracciones de los distintos tamaños de proantocianinas que se presentan. Con un mismo mDP, la proporción de oligómeros podría ser distinta, afectando a la astringencia y al amargor.

No obstante, durante la maduración la liberación de proantocianinas del hollejo aumenta y la astringencia disminuye. En este caso, el mDP no puede explicar este patrón de comportamiento, porque no se observan variaciones claras de este parámetro durante la maduración. Una posible explicación puede ser que los hollejos también contienen polisacáridos y antocianos, que pueden modular considerablemente la astringencia final del medio (19, 55-57).

La Figura 5 ilustra la contribución de los hollejos y las pepitas a la concentración de proantocianinas y a la astringencia en un vino hipotético en función del grado de maduración de la uva y de la duración de la maceración. No hemos incluido a los rabillos porque por lo general las uvas se despalillan. Este gráfico sintetiza claramente todos los resultados de este estudio.

Generalmente, la concentración total de proantocianinas y la astringencia disminuyen cuando las uvas están más maduras, pero aumentan con el tiempo de maceración. El aumento de la concentración de proantocianinas que tiene lugar durante la maceración se debe básicamente a los 2 componentes del racimo. Sin embargo, la extracción del hollejo comienza rápidamente y se estabiliza al poco tiempo, mientras que la extracción de la pepita comienza más tarde, cuando el etanol está presente en el medio, y se extiende a lo largo de todo el proceso

de maceración. En este comportamiento también influye el grado de maduración. Por lo general, las uvas verdes liberan más rápidamente los taninos de la pepita y más lentamente los taninos del hollejo que las uvas maduras.

Podemos concluir que una maceración corta produce vinos con una concentración moderada de taninos, procedentes fundamentalmente de los hollejos. Por otro lado, una maceración prolongada produce vinos con una alta concentración de taninos, de los cuales un alto porcentaje proviene de las pepitas. Dado que el grado de maduración afecta a la astringencia de los taninos procedentes de los hollejos, y especialmente de las pepitas, hay que tomarla en cuenta a la hora de elegir la duración de la maceración.

Por lo tanto, cuando las uvas están totalmente maduras, la duración de la maceración depende del estilo de vino que queramos producir: una maceración corta para vinos afrutados que se van a consumir rápidamente, y una maceración prolongada para vinos con mucho cuerpo y para vinos tánicos que van a envejecer en barricas de roble. No obstante, cuando las uvas no están bien maduras no resulta adecuada una maceración prolongada ya que un exceso de extracción de taninos de la pepita puede producir vinos excesivamente astringentes. Además, la presencia de rabillos incrementa la astringencia del vino, especialmente cuando las uvas no están bien maduras.

Agradecimientos: Agradecemos al Centro de Investigación Científica y Tecnológica (AGL 2001-0716 y AGL 2004-02309) y al Departamento d'Universitats, Recerca i Societat de la Informació de la Generalitat de Catalunya por su respaldo económico. También agradecemos a René Barbier (Clos Mogador) que nos haya suministrado las uvas para los experimentos.

III.3.4. Referencias bibliográficas

1. **Arnold R, Noble AC 1978** Bitterness and astringency of grape seed phenolics in a model solution. *Am J Enol Vitic* 29:150-152
2. **Noble AC 1990** Bitterness and astringency in wine: development in food science 25. In: Rouseff RL (eds) *Bitterness in foods and beverages*. Elsevier, New York, pp 145-158
3. **Gawel R 1998** Red wine astringency: a review. *Austr J Grape Wine Res* 4:74-98
4. **Vidal S, Francis L, Guyot S, Marnet N, Kwiatkowski M, Gawel R, Cheynier V, Waters EJ. 2003** The mouth-feel properties of grape and apple proanthocyanidins in a winelike medium. *J Sci Food Agric* 83(6):564-573

5. **Lea A, Bridle P, Timberlake C, Singletong VL 1979** The procyanidins of white grape and wines. *Am J Enol Vitic* 38:277–281
6. **Czochanska Z, Foo L, Porter L 1979** Compositional changes in lower molecular weight flavan during grape maturation. *Phytochemistry* 18:1819–1822
7. **Glories Y 1984** La couleur des vins rouges. 1ère partie: Les équilibres des anthocyanes et des tannins. *Connaiss Vigne Vin* 18:195–217
8. **Bourzeix M, Weyland D, Héredia N, Desfeux C 1986** Étude des catéchines et des procyanidols de la grappe de raisin du vin et d'autres dérivés de la vigne. *Bulletin O.I.V.*:669–670, 1179–1254
9. **Ribéreau-Gayon P, Glories Y, Maujean A, Dubourdieu D. 2000** The chemistry of wine stabilisation and treatments. In: *Handbook of enology*, vol 2. Wiley, Chichester, pp 232–234
10. **Prieur C, Rigaud J, Cheynier V, Moutounet M 1994** Oligomeric and polymeric procyanidins from grape seeds. *Phytochemistry* 36:781–784
11. **Kennedy JA, Matthewa MA, Waterhouse AL 2002** Effect of maturity and vine water status on grape skin and wine flavonoides. *Am J Enol Vitic* 53(4):268–274
12. **Souquet J-M, Cheynier V, Brossaud F 1996** Moutounet, M. Polimeric Proanthocyanidins from grape skins. *Phytochemistry* 43:509–512
13. **Gonzalez-Manzano S, Rivas-Gonzalo JC, Santos-Buelga C 2004** Extraction of flavan-3-ols from grape seed and skin into wine using simulated maceration. *Anal Chim Acta* 513:283–289
14. **Souquet JM, Cheynier V, Moutonnet M 2000** Les proanthocyanidins du raisin. *Bulletin de l'OIV* 73:601–609
15. **Vivas N, Nonier MF, Vivas de Gaulejac N, Ab-salon C, Bertrand A, Mirabel M 2004** Differentiation of proanthocyanidin tannins from seeds, skins and stems of grape (*Vitis vinifera*) and heatwood of Quebracho (*Shinopsis balansae*) by matrix assisted laser desorption/ ionisation time of flight mass spectrometry and thioacidolysis/liquid chromatography/ electrospray ionisation mass spectrometry. *Anal Chim Acta* 513:147–156
16. **Moutonnet M, Fulcrand H, Sarni-Manchado P, Souquet JM, Atanalsova V, Labarbe B, Maury C, Vidal S, Cheynier V. 2002** Wine tanins and their role in astringency perception. In: 13ème Symposium International d'oenologie, Montpellier, pp 737–747
17. **Sun B, Spranger MI. 2005** Changes in phenolic composition of Tinta Miúda red wines after 2 years of ageing in bottle: effect of winemaking Technologies. *Eur Food Res Technol* 221:305–312
18. **Vivas N, Glories Y. 1996** Role of oak wood ellagitanins in the oxidation process of red wines during aging. *Am J Enol Vitic* 47:103–107
19. **Vidal S, Francis L, Noble A, Kwiatkowski M, Cheynier V, Waters E. 2004** Taste and mouth-feel properties of different types of tannin-like polyphenolic compounds and anthocyanins in wine. *Anal Chim Acta* 513:57–65
20. **Herderich MJ, Smith PA. 2005** Analysis of grape and wine tannins: methods, applications and challenges. *Austr J Grape Wine Res* 11:205–214
21. **Ryan JM, Revilla E. 2003** Anthocyanin composition of Cabernet sauvignon and Tempranillo grapes at different stages of ripening. *J Agric Food Chem* 51:3372–3378
22. **Ó-Marques J, Reguinga R, Laureano O, Ricardo-da-Silva JM. 2005** Changes in grape seed, skins and pulp condensed tannins during berry ripening: effect of fruit pruning. *Ciência Técnica Vitivinícola* 20(1):35–52
23. **Peyrot des Gachons C, Kennedy JA. 2003** Direct method determining seed and skin proanthocyanidin extraction into red wine. *J Agric Food Chem* 51:5877–5881
24. **Canals R, Llaudy MC, Valls J, Canals JM, Zamora F. 2005** Influence of ethanol concentration on the extraction of color and phenolic compounds from the skin and seed of Tempranillo grapes at different stages of ripening. *J Agric Food Chem* 53:4019–4025
25. **Romeyer FM, Macheix JJ, Sapis JC. 1986** Changes and importance of oligomeric procyanidins during maturation of grape seed. *Phytochemistry* 25(1):219–221
26. **Boulton RB, Singleton VL, Bisson LF, Kunkee RE. 1995** Principles practices of winemaking. Chapman and Hall, New York, p 88
27. **Hashizume K, Samuta T. 1997** Green odorant of grape cluster stem and their ability to cause wine stemmy flavor. *J Agric Food Chem* 45:1333–1337
28. **Blouin. 2000** La vinificación bordelesa de las uvas tintas. In: Madrid AMV (ed) *Enología: Fundamentos Científicos Tecnológicos*. Cord, Flanzys, pp 465–467



29. **Delteil D. (2000)** El despalillado de las uvas. In: Madrid AMV (eds) *Enología: Fundamentos Científicos Tecnológicos. Cord, Flanzys*, pp 436–437
30. **Peypaud E. (1984)** *Connaissance et travail du vin*. Dunod, Bordas, Paris, pp 133–135
31. **Peypaud E. (1988)** *Le vin et les jours*. Dunod, Bordas, Paris, pp 228–232
32. **Ricardo da Silva JM, Rigaud J, Cheyrier V, Cheminat A, Moutountet M. (1991)** Procyanidin dimers and trimers from grape seeds. *Phytochemistry* 30(4):1259–1264
33. **Jordao A, Ricardo da Silva J, Laureano O. (2001)** Evolution of catechins and oligomeric procyanidins during grape maturation of Castelao Frances and Touriga Francesa. *Am J Enol and Vitic* 52(3):230–234
34. **Jackson DI, Lombard PB. (1993)** Environmental and management practices affecting grape composition and wine quality. A review. *Am J Enol Vitic* 44:409–430
35. **Esteban MA, Villanueva MJ, Lissarrague JR. (2001)** Effect of irrigation on changes in the anthocyanins composition of the skin of cv Tempranillo (*Vitis vinifera* L) grape berries during ripening. *J Sci Food Agric* 81:409–420
36. **Vivas de Gaulejac N, Nonier MF, Guerra C, Vivas N. (2001)** Anthocyanins in grape skins during maturation of *Vitis vinifera* L cv Cabernet sauvignon and Merlot noir from different Bordeaux terroirs. *Journal International de la Vigne et du Vin* 35(3):149–156
37. **Pérez-Magariño S, González San-José ML. (2004)** Evolution of flavanols, anthocyanins and their derivatives during the aging red wine elaborated from grape harvested at different stage of ripening. *J Agric Food Chem* 52:1181–1189
38. **Gómez- Plaza E, Gil- Muñoz R., López- Roca JM, Martínez-Cutillas A, Fernández- Fernández JI. (2001)** Phenolic compounds and colour stability of red wines: effect of skin maceration time. *Am J Enol Vitic* 53(3):266–270
39. **Zimman A, Joslin WS, Lyon ML, Meier J, Waterhouse AL (2002)** Maceration variables affecting Phenolic composition in commercial-scale Cabernet sauvignon winemaking trials. *Am J Enol Vitic* 53(2):93–98
40. **Gómez- Míguez M, Heredia FJ (2004)** Effect of the maceration technique on the relationships between anthocyanins composition and objective color of Syrah wines. *J Agric Food Chem* 52:5117–5123
41. **Kelebek H, Canbas A, Selli S, Saucier C, Jourdes M, Glories Y (2005)** Influence of different maceration times on the anthocyanin composition of wine mades from *Vitis vinifera* cvs Bogazkere and O' ku' zgo' zu'. *J Food Eng.* doi:10.1016/j.jfoodeng.2005.08.032
42. **Kennedy JA, Mattheus MA, Waterhouse AL (2000)** Changes in grape seed polyphenols during fruit ripening. *Phytochemistry* 55:77–85
43. **Kennedy JA, Troup GL, Pilbrow JR, Hutton DR, Hewitt D, Hunter CR, Ristic R, Iland PG, Jones GP (2000)** Development of seed polyphenols in berries from *Vitis vinifera* L. cv. Shiraz. *Austr J Grape Wine Res* 6:244–254
44. **Jordao A, Ricardo da Silva J, Laureano O (2001)** Evolution of proanthocyanidins in bunch stems during berry development (*Vitis vinifera* L.). *Vitis* 40:17–22
45. **Harbertson JF, Kennedy JA, Adams DO (2002)** Tannin in skins and seeds of cabernet sauvignon, Syrah and Pinot noir berries during ripening. *Am J Enol Vitic* 53(1):54–59
46. **O.I.V. (2005)** *Le recueil des méthodes internationales d'analyse des vins et des moûts*, vols I, II, Sect 3. O.I.V, Paris
47. **Niketic-Aleksic GK, Hrazdrina G (1972)** Quantitative analysis of the anthocyanin content in grape juices and wine. *Lebensmittel-Wissenschaft & Technologie* 5(5):163–165
48. **Ribéreau-Gayon P, Stonestreet E (1966)** Dosage des tanins du vin rouge et détermination de leur structure. *Chim Anal* 48:188–196
49. **Nagel CW, Glories Y (1991)** Use of a modified dimethylaminocinnamaldehyde reagent for analysis of flavanols. *Am J Enol Vitic* 42:364–366
50. **Rodríguez M, Lezáun J, Canals R, Llaudy MC, Canals JM, Zamora F (2005)** Influence of the presence of the lees during oak ageing on colour and phenolic compounds composition of red wine. *Food Sci Technol Int* 11(4):289–296
51. **Llaudy MC, Canals R, Canals JM, Rozès N, Arola LI, Zamora F (2004)** New method for evaluating astringency in red wine. *J Agric Food Chem* 52:742–746
52. **Mazza G, Fukumoto L, Delaquis P, Girard B, Ewert B (1999)** Anthocyanins, phenolic and color of Cabernet franc, Merlot and Pinot noir from British Columbia. *J Agric Food Chem* 47:4009–4017

53. **Spranger MI, Climaco MC, Sun B, Eiriz N (2004)** Differentiation of red winemaking technologies by phenolic and volatile composition. *Anal Chim Acta* 513:151–161

54. **Geny L, Saucier C, Bracco S, Daviaud F, Glories Y (2003)** Composition and cellular localization of tannins in grape seeds during maturation. *J Agric Food Chem* 51:8051–8054

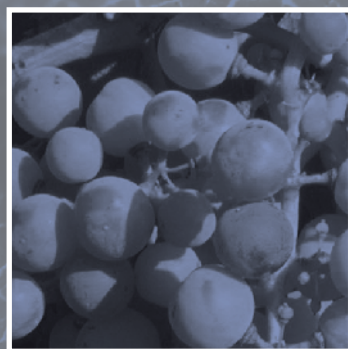
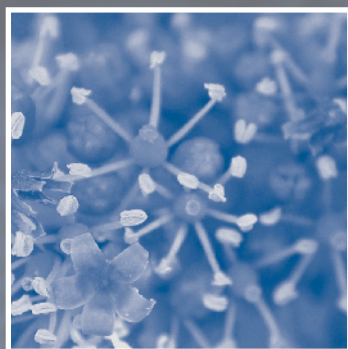
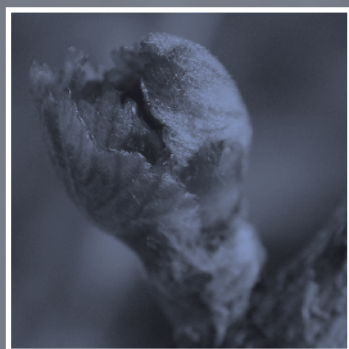
55. **Fuster A (2001)** Les polysaccharides, leur contribution à la qualité du vin. *Revue Française d'Oenologie* 187:14–17

56. **Vidal S, Courcoux P, Francis L, Kwiatkowski M, Gawel R, Williams P, Waters E, Cheynier V (2004)** Use of an experimental design approach for evaluation key wine components on mouth-feel perception. *Food Qual Prefer* 15:219–217

57. **Mateus N, Carvalho E, Luis C, de Freitas V (2004)** Influence of the tannin structures on the disruption of carbohydrates on protein–tannin aggregates. *Anal Chim Acta* 513:135–140



III.4. Influencia de la concentración de etanol en la extracción de color y de compuestos fenólicos de los hollejos y pepitas de uvas tempranillo en diversas etapas de maduración



233	III.4.1. Introducción
234	III.4.2. Materiales y métodos
235	III.4.3. Resultados y comentario
241	III.4.4. Agradecimientos
241	III.4.5. Referencias bibliográficas



R. CANALS, M. C. LLAUDY,
J. VALLS, J. M. CANALS,
y F. ZAMORA

*Grupo de Investigación en Tecnología Enológica
(TECNENOL)*

Departamento de Bioquímica y Biotecnología.

Facultad de Enología de Tarragona.

Universidad Rovira i Virgili.

El objeto de este estudio consiste en analizar cómo afectan la madurez de la uva y la concentración de etanol a la extracción de color y de compuestos fenólicos de los hollejos y pepitas durante el proceso de maceración y fermentación. Se han llevado a cabo ensayos de simulación de maceración de uvas en 3 etapas distintas de desarrollo de la baya (*vitis vinifera* cv tempranillo) y en medios de maceración con diversas concentraciones de etanol. Tanto la madurez como el contenido de etanol tienen un efecto considerable sobre la extracción de color y de compuestos fenólicos. De estos 2 factores, el grado de madurez es el que más incrementa la capacidad de extracción. La presencia de etanol en el medio facilita la extracción de antocianos y en especial de proantocianidinas, pero también reduce los fenómenos de copigmentación, lo cual puede reducir la intensidad del color. A mayor contenido de etanol en el medio de maceración, mayor es la astringencia de las proantocianidinas.

III.4.1. Introducción

El color del vino tinto se debe fundamentalmente a los antocianos (1) que están presentes en el hollejo de la uva (2) y se disuelven en el vino tinto durante el proceso de maduración y fermentación.

La síntesis de antocianos comienza durante el envero y sigue activa durante toda la maduración de la uva (3). Por ello, los antocianos se acumulan gradualmente en los hollejos durante la maduración (4, 5). Sin embargo, la concentración de antocianos puede disminuir ligeramente durante la sobremaduración (6-8). Se ha determinado que en casi todos los variedades de uva, el antociano más abundante es el malvidin-3-glucósido (9), mientras que la concentración de los demás antocianos difiere en función del varietal. Durante la maduración, suelen aumentar los niveles de malvidin-3-glucósido y de peonidin-3-glucósido, mientras que los demás antocianos monoglucósidos tienden a disminuir al final de la maduración (7, 10). Esto probablemente se deba al hecho de que el malvidin-3-glucósido y el peonidin-3-glucósido son los productos finales de la biosíntesis que desemboca en los antocianos (11, 12). Paralelamente, los antocianos

acilados tienden a aumentar durante la maduración, aunque en algunos casos disminuyen al final del proceso (5, 13).

Por todas estas razones, la maduración es el factor principal que afecta a la acumulación de antocianos en el hollejo de la uva. Sin embargo, los antocianos no siempre se extraen fácilmente de los hollejos, y una extracción deficiente puede producir vinos flojos de color, incluso aunque la concentración de antocianos en las uvas originales sea suficiente (14). Por consiguiente, la facilidad de extracción de los antocianos también es uno de los principales factores que afectan a su concentración futura en el vino (14). Además, la facilidad de extracción de los antocianos aumenta conforme avanza la maduración de la uva (15). Teóricamente, todos los vinos elaborados a partir de uvas bien maduras tienen más color y son más ricos en antocianos que los vinos elaborados con uvas inmaduras.

Los hollejos y pepitas de la uva también contienen otros muchos compuestos fenólicos que se incorporan al vino durante el proceso de maceración. Entre ellos, las proantocianidinas, también conocidas como taninos condensados, desempeñan un papel determinante en la calidad del vino. A diferencia de las proantocianidinas procedentes de las pepitas, las procedentes de los hollejos contienen prodelphinidas y presentan un mayor grado de polimerización y una menor proporción de subunidades galoiladas (16). Al combinarse con los antocianos, las proantocianidinas contribuyen a la estabilidad del color a largo plazo (15). Además, las proantocianidinas también se asocian a sensaciones de textura como el cuerpo y la astringencia (17).

Varios autores (18-2) han estudiado las proantocianidinas en las uvas y sus variaciones durante la maduración. En términos generales, han observado que la máxima concentración de proantocianidinas se produce en el envero. Más adelante, la concentración de proantocianidinas disminuye hasta un momento justo anterior a la maduración completa, a partir del cual se mantiene relativamente constante. Paralelamente, el grado medio de polimerización (mDP) se incrementa a lo largo de la maduración (16, 18, 19, 21).



En la actualidad, el mercado valora mucho los vinos con un color intenso y mucho cuerpo. Por ese motivo, los elaboradores suelen aplicar procedimientos destinados a mejorar la extracción del color. La utilización de enzimas pectinolíticas (24, 25) o de hielo seco (26, 27), la aplicación de altas temperaturas (28, 29), la prolongación del tiempo de maceración, el aumento del volumen y la frecuencia del remontado, la aplicación de bazuqueo o el "delestage" son las estrategias más corrientes (15). Ahora bien, en ocasiones esos procedimientos pueden extraer un exceso de compuestos fenólicos, que confieren al vino una mayor astringencia y afectan a su calidad (30), en especial en uvas inmaduras (14, 15).

Durante los últimos años se han publicado varios estudios sobre la evolución de los antocianos (4, 5, 10, 31) y las proantocianidinas (18-20) durante la maduración (21-23). No obstante, la mayor parte de ellos utilizan métodos de extracción mucho más agresivos que los empleados en la vinificación, por lo que es posible que los resultados estén sobrevalorados (16). Además, esos métodos agresivos pueden extraer proantocianidinas con un grado de polimerización más alto que el que se encuentra realmente en el vino.

Se suele considerar que la duración de la maduración es uno de los principales factores que determinan la extracción fenólica (15). No obstante, durante la elaboración del vino tinto, los hollejos y pepitas se encuentran en un medio donde aumenta progresivamente la concentración de etanol. Obviamente, el contenido de etanol del medio debe desempeñar un papel no desdeñable en la extracción de compuestos fenólicos. Por consiguiente, la evolución del contenido de etanol en el mosto/vino también puede ser uno de los factores determinantes que afectan a la cantidad y calidad de extracción fenólica.

Algunas publicaciones han estudiado la influencia de la concentración de etanol en la extracción de compuestos fenólicos (2, 32, 35). Sin embargo, que nosotros sepamos, ninguno de ellos ha analizado este

efecto durante la maduración de la uva. El objeto de este trabajo ha consistido en estudiar cómo influyen la madurez de la uva y el contenido de etanol en la extracción de color y de compuestos fenólicos de los hollejos y las pepitas. Hemos seleccionado la variedad tempranillo de *Vitis vinifera* porque es una de las más utilizadas en España para elaborar tintos de calidad.

III.4.2. Materiales y métodos

III.4.2.1. Productos químicos

Metanol, acetonitrilo, y ácido fórmico para HPLC, que se compraron a Merck. Epicatequina, ovoalbúmina y ácido tánico, comprados a Sigma. El resto de los productos químicos eran de una gran pureza y los suministró Panreac (Barcelona, España).

III.4.2.2. Uvas

El estudio se llevó a cabo con *Vitis vinifera* cv tempranillo. Todas las muestras se produjeron, vendimiaron y el vino se elaboró en el viñedo y la bodega experimentales de la Facultad de Enología de la Universidad Rovira i Virgili de Constantí (Tarragona) en 2003.

Se vendimiaron aleatoriamente unas 2000 uvas en las fechas del 7 de agosto, el 22 de agosto, y el 5 de septiembre. La primera etapa (7 de agosto) corresponde 10 días después de la culminación del envero, y la última etapa (5 de septiembre) corresponde al culminar la maduración. Para obtener muestras aleatorias y evitar la cosecha de uvas de la misma cepa en los diferentes momentos de toma de muestras, se marcó una de cada 3 cepas del viñedo. La primera muestra se tomaba únicamente de las viñas marcadas. La segunda muestra se tomaba de la cepa inmediatamente siguiente a la cepa marcada. La tercera muestra se tomaba de las viñas restantes. Las muestras también se seleccionaron aleatoriamente en cada viña para garantizar una distribución homogénea entre las uvas expuestas a más o menos luz solar. Se tomaron 3 uvas

Tabla 1
Evolución de los parámetros de la uva a lo largo de la maduración

	Etapa de maduración		
	1	2	3
Peso de 100 bayas (g)	151 + 1 A	173 + 8 B	221 + 2 C
Contenido de azúcar (g/L)	160 + 7A	180 + 5 B	192 + 3 C
Contenido de azúcar (Brix)	14,9 + 0,6 A	16,7 + 0,5 B	4,2 + 0,3 C
Acidez total (g/L) ^a	9,5 v0,5 A	6,3 + 0,5 B	4,2 + 0,3 C
pH	3,18 + 0,04 A	3,42 + 0,04 B	3,56 + 0,03 C

^a La acidez total se expresa como ácido tartárico. Todos los datos se expresan con la media de las 3 repeticiones + desviación. Análisis estadístico: prueba bifactor ANOVA y Scheffe (en ambos casos, $p = 0,05$) Las diversas letras indican la existencia de diferencias estadísticamente significativas.

de cada racimo: una de la parte superior, otra de la parte inferior, y otra del centro del racimo. Se puso especial cuidado en obtener una buena distribución entre bayas del interior y del exterior del racimo.

El peso de 100 bayas, el contenido en azúcares, la acidez total y el pH se determinaron mediante análisis por triplicado, aplicando los métodos analíticos recomendados por la OIV (36).

III.4.2.3. Condiciones de maceración

Todos los experimentos se llevaron a cabo por triplicado, y se seleccionaron al azar 100 bayas para cada una de las condiciones. Se separó manualmente los hollejos y pepitas de la pulpa, y se depositaron en frascos que contenían 125 ml. de diversas soluciones sintéticas, las cuales constaban de 4 g/L de ácido tartárico y de distintas concentraciones de etanol (0,0, 6, 5 y 13,0%) con objeto de reproducir diferentes puntos de la fermentación alcohólica. Se ajustó el pH de todas ellas a 3,5 mediante hidróxido de sodio. Se añadió metabisulfito potásico (80 mg/L) a todas las soluciones sintéticas para inhibir la fermentación de los azúcares y reproducir las condiciones reales de la vinificación. Se protegió todos los frascos contra la oxidación añadiéndoles dióxido de carbono y manteniéndolos a oscuras a una temperatura de 28° C durante todo el experimento. Cada día se agitaron suavemente los frascos para homogeneizar el medio. Al cabo de 7 días de maceración, se centrifugó el contenido de cada frasco y se conservó a 4° C en viales que permanecieron herméticamente sellados hasta el momento del análisis (enero de 2004).

III.4.2.4. Parámetros de color

Se midió la intensidad del color (IC) y el tono (H) utilizando la metodología descrita por Glories (35). El porcentaje de color debido a la copigmentación se calculó según Boulton (37).

III.4.2.5. Análisis de los antocianos

El contenido de compuestos fenólicos se determinó utilizando la metodología descrita por Ribéreau-Gayon y Stonestreet (38). El contenido de antocianos combinados con proantocianidinas se calculó utilizando el índice PVPP (35). Los antocianos que contribuyeron al color del vino se calcularon a través del índice de ionización (15). Los análisis HPLC de los antocianos se llevaron a cabo en un cromatógrafo de líquidos Agilent (1100) y una columna Waters Spherisorb (ODS2), aplicando el método descrito por González-San José (39).

III.4.2.6. Otros compuestos fenólicos

El contenido de compuestos fenólicos se determinó midiendo la absorbencia a 280 nm (15), expresada

en unidades de absorbencia. El contenido total de proantocianidinas se estimó conforme al método de Ribéreau-Gayon y Stonestreet (40). El contenido de proantocianidinas combinadas con polisacáridos se calculó utilizando el índice de etanol (15).

III.4.2.7. Astringencia

La astringencia se estimó utilizando ovoalbúmina como agente de precipitación y soluciones de ácido tánico como patrones con arreglo al método descrito más arriba (41).

III.4.2.8. Estadísticas

Todos los datos se expresan mediante la media aritmética + la desviación estándar de las 3 repeticiones. Se llevaron a cabo pruebas de Scheffe y ANOVA bifactor con el software SPSS.

III.4.3. Resultados y comentario

La Tabla 1 recapitula los parámetros físicos y químicos de las uvas a lo largo de la maduración. El peso de 100 bayas, el contenido de azúcares, la acidez total y el pH presentan el comportamiento habitual durante la maduración, y confirman que los grados de maduración de las muestras seleccionadas eran significativamente distintos.

La Figura 1 muestra cómo influye el contenido de etanol de los medios de maceración en la cinética de extracción de antocianos totales en las diversas etapas de maduración de la uva. En todas las condiciones experimentales, la concentración de antocianos totales aumenta durante los 3 primeros días de maceración y se estabiliza a partir de entonces. Los resultados también demuestran que se extrajeron muchos menos antocianos en la primera etapa de maduración. En

Figura 1
Influencia del contenido de etanol de los medios de maceración en la cinética de extracción de antocianos totales en las diversas etapas de maduración de la uva. Todos los datos se expresan con la media de las 3 repeticiones + desviación estándar. Cuantificado mediante Ribéreau-Gayon y Stonestreet (38).

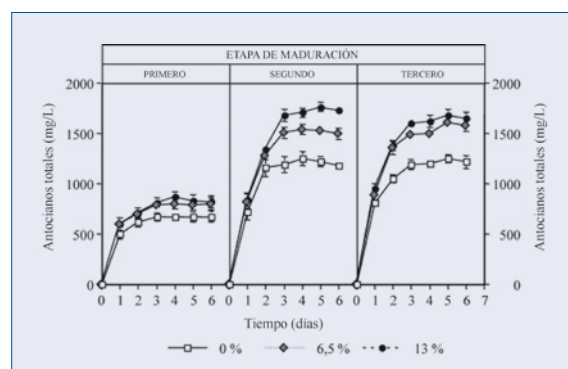
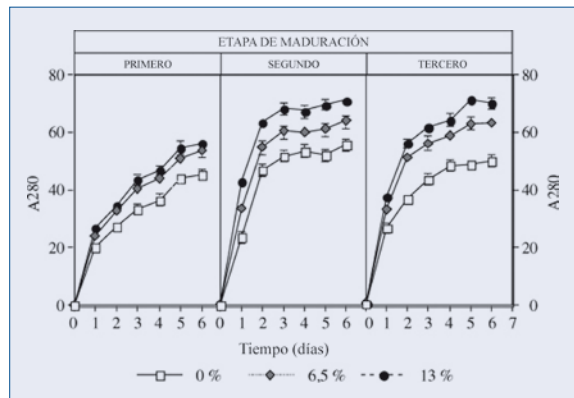


Figura 2

Maceraciones de hollejos. Influencia del contenido de etanol en la cinética de extracción de compuestos fenólicos totales de los hollejos (A280) en las diversas etapas de maduración de la uva. Todos los datos se expresan con la media de las 3 repeticiones + desviación estándar.



cambio, no se apreciaron diferencias entre la segunda y tercera etapa de maduración.

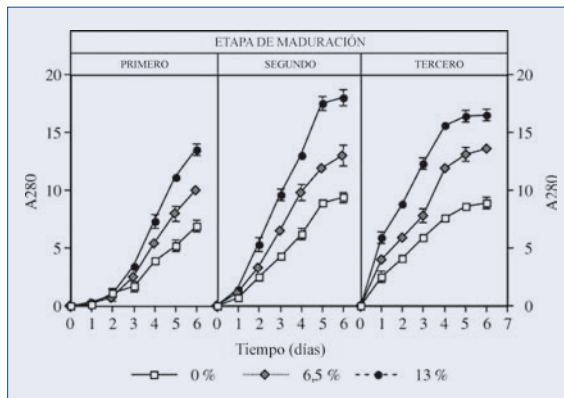
Por otra parte, está claro que el etanol influye en la extracción de antocianos. A mayor concentración de etanol en los medios de maceración, mayor extracción de antocianos se obtuvo para todas las etapas de maduración.

La Figura 2 muestra cómo influye el contenido de etanol del medio de maceración en la cinética de extracción de compuestos fenólicos totales de los hollejos (A280) en las diversas etapas de maduración de la uva. En términos generales, la cinética de extracción de compuestos fenólicos totales es similar a la cinética de extracción de antocianos. La mayor parte de los compuestos fenólicos se extrajeron de los hollejos durante los primeros días de maceración, y su extracción tendió a estabilizarse posteriormente. En la primera etapa se extraen muchos menos compuestos, y no se observan diferencias entre la segunda y tercera etapa de maduración. La presencia de etanol incrementa la extracción de compuestos fenólicos totales en todas las etapas de maduración.

La Figura 3 recapitula la influencia del contenido de etanol en la cinética de extracción de compuestos fenólicos totales de los hollejos (A280) en las diversas etapas de maduración de la uva. En este caso, la cinética de extracción es bastante diferente de la cinética de extracción de las pepitas. La extracción de compuestos fenólicos totales de las pepitas parece ser más lenta y progresiva. Estos resultados concuerdan con los de González-Manzano et al. (16). Cuando se utilizan uvas inmaduras, la extracción de compuestos fenólicos totales no se estabiliza, mientras que cuando las uvas están totalmente maduras, se observa cierta tendencia hacia la estabilización al final del proceso de maceración.

Figura 3

Maceraciones de las pepitas. Influencia del contenido de etanol en la cinética de extracción de compuestos fenólicos totales (A280) en las diversas etapas de maduración de la uva. Todos los datos se expresan con la media de las 3 repeticiones + desviación estándar.



Cuanto mayor es la concentración de etanol en los medios de maceración, mayor es la extracción de compuestos fenólicos totales de las pepitas en todas las etapas de maduración. Su influencia es aún mayor con respecto a los hollejos.

La Figura 4 presenta cómo influye el contenido de etanol en la concentración final de antocianidin-3-glucósidos (A-3-Gs) y antocianidin-3-glucósidos acetilados y p-courmarilados (Aca-3-Gs y (CoA-3-Gs, respectivamente) en las diversas etapas de maduración de la uva.

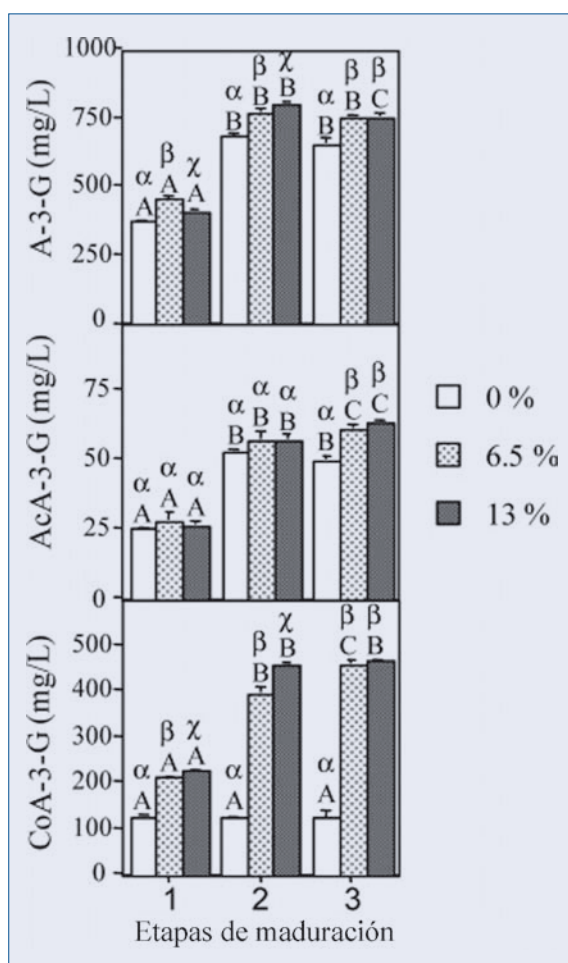
Estos resultados confirman que los A-3-Gs son los antocianos predominantes. La concentración de los 2 antocianos acilados es inferior a la de sus monoglucósidos correspondientes. Concretamente, la presencia de AcA-3-Gs es de entre un 4 y un 5%, la de CoA-3-Gs de entre un 15 y un 35%, y la de A-3-Gs entre el 60 y el 81% de los antocianos totales.

La concentración total de A-3-G aumentó entre la primera y la segunda etapa de maduración. En términos generales, este comportamiento se observó en todos los A-3-Gs (no se presentan los datos). Sin embargo, los niveles de Pa-3-G y de Mv-3-G se estabilizaron, mientras que los de Dp-3-G y Pt-3-G disminuyeron ligeramente en la tercera etapa de maduración. Esta disminución probablemente se deba a que se han transformado en Mv-3-G (4, 11, 12, 31).

Por otro lado, la presencia de etanol en el medio pareció facilitar la extracción de A-3-G totales en todas las muestras. Cuando se incrementó el contenido de etanol al 6,5%, la extracción de A-3-G totales fue significativamente mayor. Los incrementos de A-3-G totales observados fueron del 22% en la primera etapa de maceración, del 13% en la segunda etapa, y del 15% en la tercera etapa. Por consiguiente, este efecto parece ser mayor cuando las uvas están menos maduras.

Figura 4

Influencia del contenido de etanol en la concentración final de antocianidina-3-glucósidos (A-3-Gs) y antocianidina-3-glucósidos acetilados y p-courmarilados (AcA-3-Gs y (CoA-3-Gs, respectivamente) en las diversas etapas de maduración de la uva. Todos los datos se expresan con la media de las 3 repeticiones + desviación estándar. Análisis estadístico: prueba bifactor ANOVA y Scheffe (en ambos casos, $p=0,05$)
Las diversas letras indican la existencia de diferencias estadísticamente significativas. Las letras griegas (α, β, χ) se utilizan para comparar la influencia del etanol. Las letras latinas (A, B, C) se utilizan para comparar la influencia de la maduración. Todos los datos se determinaron mediante HPLC (39).



La concentración total de Ac-3-G también aumentó a lo largo del proceso de maduración, en especial entre la primera y segunda etapas de maduración, y siguió un comportamiento similar al de A-3-G. De hecho, la presencia de etanol parece tener mayor efecto sobre esta familia de pigmentos que sobre los A-3-G o Ac-3-g.

La Tabla 2 presenta la evolución de los antocianos totales, libres y combinados a lo largo de la maceración de la uva, y la influencia del contenido de etanol del medio de maceración. La Tabla 2 presenta los antocianos totales analizados mediante HPLC (39) y los antocianos totales analizados mediante espectrofotometría después de una decoloración con dióxido de azufre conforme al método clásico de Ribéreau-Gayon y Stonestreet (38).

La comparación de estos resultados indica que el contenido de antocianos totales obtenido mediante HPLC es claramente inferior al obtenido mediante espectrofotometría. Esto es absolutamente lógico, puesto que el método HPLC sólo detecta los antocianos libres, y no los antocianos combinados que se forman cuando se enlazan con los flavanoles. El método espectrofotométrico, sin embargo, detecta todos los pigmentos susceptibles de decoloración al dióxido de azufre. Por consiguiente, este método debe detectar todos los antocianos libres y la mayor parte de los combinados.

El índice PVPP permite cuantificar los antocianos libres y, mediante una operación de resta, los antocianos combinados (35). Desde luego merece la pena señalar que los datos sobre antocianos totales obtenidos con el método HPLC y en función del índice PVPP son muy similares. Estos datos concuerdan con los resultados obtenidos por Rivas-Gonzalo et al. (42)

En términos generales, los contenidos de antocianos totales, libres y combinados son muy similares a la información recopilada en las tablas anteriores. Aumentan durante la maduración, sobre todo durante el periodo inicial de ésta, y la presencia de etanol facilita su extracción.

La Tabla 3 presenta la evolución de los parámetros de color en las maceraciones de hollejos en función del grado de maduración de la uva, y la influencia del contenido de etanol. La intensidad del color presenta una clara tendencia a aumentar conforme avanza la maduración, y la tendencia es especialmente significativa durante el primer periodo. Sin embargo, no se observa una relación directa entre la concentración de antocianos y la intensidad del color. Además, el efecto del etanol sobre la intensidad del color parece estar relacionado con su concentración, pero no de forma lineal. En términos generales, la intensidad del color aumenta con las concentraciones de etanol comprendidas entre el 0,0 % y el 6,5%. En cambio se detecta una ligera reducción con una concentración del 13%.

Quizás lo puedan explicar los índices de ionización y de copigmentación. El índice de ionización da una idea del porcentaje de antocianos que contribuyen al color del vino (15). El índice de copigmentación, por su parte, indica el porcentaje de color debido a este fenómeno (43). El etanol reduce considerablemente sendos índices. Se ha descrito que el etanol puede interrumpir las asociaciones entre antocianos y copigmentos (43, 44), de modo que estos resultados son completamente lógicos. Aunque el etanol facilita la extracción de los antocianos, su presencia reduce los fenómenos de copigmentación. Cuando la concentración de etanol se incrementa del 0,0 al

Tabla 2

Maceración de los hollejos: evolución del contenido de antocianos totales, libres y combinados a lo largo de la maceración de la uva, e influencia del contenido de etanol del medio de maceración ^a

	Etanol	Etapa de maduración		
		1	2	3
Total antocianos por HPLC (gm/L)	0%	529 ± 8 α,A	862 ± 11 α,B	835 ± 34 α,B
	6.5%	695 ± 15 β,A	1224 ± 30 β,B	1271 ± 17 β,B
	13%	665 ± 11 β,A	1316 ± 20 χ,B	1286 ± 22 β,C
Bifactor ANOVA: maduración p < 0,0001 etanol P < 0,0001				
Total antocianos SO ₂ (mg/L)	0%	647 ± 16 α,A	1103 ± 38 α,B	1135 ± 45 α,B
	6.5%	786 ± 19 β,A	1419 ± 6 β,B	1513 ± 30 β,C
	13%	781 ± 8 β,a	1658 ± 40 χ,B	1543 ± 35 β,C
Bifactor ANOVA: maduración p < 0,0001 etanol P < 0,0001				
Antocianos libres (mg/L)	0%	533 ± 18 α,A	862 ± 20 α,B	829 ± 16 α,B
	6.5%	645 ± 22 β,A	1125 ± 16 β,B	1186 ± 19 β,C
	13%	615 ± 12 β,A	1267 ± 32 χ,B	1189 ± 20 β,C
Bifactor ANOVA: maduración p < 0,0001 etanol P < 0,0001				
Antocianos combinados (mg/L)	0%	114 ± 8 α,A	241 ± 32 α,B	306 ± 19 α,C
	6.5%	141 ± 29 α,A	294 ± 14 β,B	327 ± 15 α,C
	13%	166 ± 6 α,A	391 ± 23 β,B	354 ± 20 α,B
Bifactor ANOVA: maduración p < 0,0001 etanol P < 0,0001				

^a Todos los datos se expresan con la media de las 3 repeticiones + desviación. Análisis estadístico: prueba bifactor ANOVA y Scheffe (en ambos casos, p = 0,05) Las diversas letras indican la existencia de diferencias estadísticamente significativas. Las letras griegas (α, β, χ) se utilizan para comparar la influencia del etanol. Las letras latinas (A, B, C) se utilizan para comparar la influencia de la maduración.

6,5%, la extracción de antocianos aumenta significativamente, cosa que puede compensar el efecto negativo del etanol sobre los fenómenos de copigmentación. Sin embargo, cuando el contenido de etanol se incrementa del 6,5 a 13%, el ligero incremento de extracción de antocianos no es suficiente para compensar la considerable reducción de la copigmentación, que provoca una reducción de la intensidad del color. Por otra parte, el tono parece aumentar con la maduración, y también con las mayores concentraciones de etanol.

La Tabla 4 presenta la evolución de los compuestos fenólicos totales y de las proantocianidinas a lo largo de la maduración de la uva, y la influencia del contenido de etanol. Estos resultados demuestran que la extracción de proantocianidinas y de compuestos fenólicos totales (A280) de los hollejos es mayor que la de las pepitas, al menos en nuestras condiciones de maceración. Se ha comunicado que las pepitas contienen muchas más proantocianidinas que los hollejos (16, 33, 45). Ahora bien, esos estudios pretenden determinar la concentración real de proantocianidinas en las pepitas y hollejos, y no determinar cuántas proantocianidinas se pueden extraer en condiciones de vinificación reales. Por ese motivo, dichos estudios han utilizado métodos de extracción mucho más agresivos

que los empleados en la vinificación, por lo que pueden inducir una sobrevaloración (16). Nuestros resultados se han obtenido en condiciones similares a las de la vinificación, y teóricamente deben reproducir lo que sucede realmente durante el proceso de maceración/fermentación.

Además, en nuestras condiciones experimentales, todas las maceraciones duraron 7 días solamente. Como ilustran las Figuras 2 y 3, la cinética de extracción de los compuestos fenólicos totales de los hollejos y de las pepitas parece talmente distinta. Mientras que la extracción de los compuestos fenólicos totales de los hollejos parece estabilizarse a los 4 ó 5 días de maceración, la extracción de las pepitas parece continuar progresivamente. Por lo tanto, prolongar la maceración más allá del final de la fermentación alcohólica incrementa considerablemente la concentración de proantocianidinas procedentes de las pepitas. En maceraciones más prolongadas, probablemente se obtendría una mayor proporción de proantocianidinas extraídas de las pepitas.

En términos generales, las concentraciones de compuestos fenólicos totales y de proantocianidinas de los hollejos y pepitas aumentaron significativamente entre la primera y segunda etapas de maduración. Sin

Tabla 3

Maceraciones de hollejos: evolución de los parámetros del color a lo largo de la maduración de la uva, e influencia del contenido de etanol del medio de maceración ^a

	Etanol	Etapa de maduración		
		1	2	3
Intensidad del color	0%	9.5 ± 0.4 α,A	15.7 ± 0.6 α,B	16.4 ± 1.1 α,B
	6.5%	9.9 ± 0.3 α,A	18.7 ± 0.4 β,B	21.8 ± 0.5 β,C
	13%	8.3 ± 0.3 β,A	16.9 ± 0.8 α,B	18.2 ± 0.9 α,B
Bifactor ANOVA: maduración p < 0,0001 etanol P < 0,0001				
Índice de ionización	0%	29.0 ± 1.2 α,A	27.9 ± 0.3 α,AB	26.7 ± 0.3 α,B
	6.5%	23.1 ± 0.6 β,A	24.9 ± 0.6 β,B	26.1 ± 0.3 α,B
	13%	19.2 ± 1.0 χ,A	17.9 ± 0.3 χ,A	21.3 ± 0.8 β,B
Bifactor ANOVA: maduración p < 0,0001 etanol P < 0,0001				
Índice de copigmentación	0%	54.8 ± 6.9 α,A	57.9 ± 1.7 α,A	50.4 ± 4.1 α,A
	6.5%	52.0 ± 1.6 α,A	50.6 ± 1.7 β,A	50.6 ± 0.4 α,A
	13%	39.1 ± 4.4 β,A	33.5 ± 2.1 χ,A	33.9 ± 1.3 β,A
Bifactor ANOVA: maduración p < 0,0001 etanol P < 0,0001				
Antocianos combinados (mg/L)	0%	37.3 ± 0.2 α,A	39.9 ± 0.7 α,A	43.0 ± 1.7 α,B
	6.5%	39.6 ± 0.8 β,A	42.0 ± 1.0 β,B	41.5 ± 0.3 α,AB
	13%	42.6 ± 0.5 χ,A	46.5 ± 0.6 χ,B	45.6 ± 0.6 β,B
Bifactor ANOVA: maduración p < 0,0001 etanol P < 0,0001				

^a Todos los datos se expresan con la media de las 3 repeticiones + desviación. Análisis estadístico: prueba bifactor ANOVA y Scheffe (en ambos casos, p = 0,05) Las diversas letras indican la existencia de diferencias estadísticamente significativas. Las letras griegas (α, β, χ) se utilizan para comparar la influencia del etanol. Las letras latinas (A, B, C) se utilizan para comparar la influencia de la maduración.

embargo, no se han detectado cambios significativos en el punto de máxima madurez.

Aunque algunos autores han observado que la concentración de proantocianidinas disminuye en los hollejos y las pepitas a lo largo de la maduración (19, 20, 22, 45), nuestros resultados parecen indicar que se extraen fácilmente. La experiencia de los elaboradores indica que las uvas más maduras generalmente tienden a producir vinos con una mayor concentración de taninos, y nuestros resultados parecen concordar con la experiencia.

Por otro lado, la influencia del contenido de etanol está muy clara. Cuando el contenido de etanol es alto, la extracción de proantocianidinas de los hollejos y pepitas es significativamente mayor. Esto concuerda con los resultados obtenidos por González-Manzano et al. (16).

El índice de etanol permite cuantificar los complejos proantocianidinas - polisacáridos. Se ha comunicado que estos complejos pueden reducir la capacidad de las proantocianidinas de enlazarse con las proteínas, y por lo tanto se reduce la astringencia de los vinos (46). Este índice sólo se puede determinar en los extractos de hollejos o en los vinos, pero no

en los extractos de pepitas. Si se utiliza en extractos de pepitas, los valores son siempre próximos a cero. Estos complejos de proantocianidinas - polisacáridos aumentan significativamente durante la maduración.

Por otra parte, la maduración produce un efecto no desdeñable sobre la astringencia. La astringencia de los extractos de los hollejos y pepitas aumenta significativamente durante la primera etapa de la maduración, coincidiendo con el incremento de la concentración de proantocianidinas. No obstante, la astringencia de los hollejos y pepitas disminuye significativamente durante las últimas etapas de la maduración, a pesar de que la concentración de proantocianidinas se mantiene estable. Se ha postulado que la combinación de polisacáridos con proantocianidinas puede disminuir su capacidad de enlazar proteínas (46). Por consiguiente, el incremento de la concentración de complejos proantocianidinas-polisacáridos observado puede estar relacionado con la disminución de la astringencia de los extractos de los hollejos.

La presencia de etanol también incrementa significativamente la astringencia de los extractos de los hollejos y pepitas, probablemente debido a su efecto sobre la extracción de proantocianidinas.

Tabla 4
Influencia de la maduración de la uva y del contenido de etanol sobre los compuestos fenólicos totales y las proantocianidinas ^a

	Etanol	Etapa de maduración		
		1	2	3
Hollejos IPT	0%	9.5 ± 0.4 α,A	15.7 ± 0.6 α,B	16.4 ± 1.1 α,B
	6.5%	9.9 ± 0.3 α,A	18.7 ± 0.4 β,B	21.8 ± 0.5 β,C
	13%	8.3 ± 0.3 β,A	16.9 ± 0.8 α,B	18.2 ± 0.9 α,B
Bifactor ANOVA: maduración p < 0,0001 etanol P < 0,0001				
Pepitas IPT	0%	29.0 ± 1.2 α,A	27.9 ± 0.3 α,AB	26.7 ± 0.3 α,B
	6.5%	23.1 ± 0.6 β,A	24.9 ± 0.6 β,B	26.1 ± 0.3 α,B
	13%	19.2 ± 1.0 χ,A	17.9 ± 0.3 χ,A	21.3 ± 0.8 β,B
Bifactor ANOVA: maduración p < 0,0001 etanol P < 0,0001				
Proantocianidinas de hollejos (g/L)	0%	54.8 ± 6.9 α,A	57.9 ± 1.7 α,A	50.4 ± 4.1 α,A
	6.5%	52.0 ± 1.6 α,A	50.6 ± 1.7 β,A	50.6 ± 0.4 α,A
	13%	39.1 ± 4.4 β,A	33.5 ± 2.1 χ,A	33.9 ± 1.3 β,A
Bifactor ANOVA: maduración p < 0,0001 etanol P < 0,0001				
Proantocianidinas – polisacáridos hollejos (g/L)	0%	37.3 ± 0.2 α,A	39.9 ± 0.7 α,A	43.0 ± 1.7 α,B
	6.5%	39.6 ± 0.8 β,A	42.0 ± 1.0 β,B	41.5 ± 0.3 α,AB
	13%	42.6 ± 0.5 χ,A	46.5 ± 0.6 χ,B	45.6 ± 0.6 β,B
Bifactor ANOVA: maduración p < 0,0001 etanol P < 0,0001				
Astringencia hollejos (g/L)	0%	37.3 ± 0.2 α,A	39.9 ± 0.7 α,A	43.0 ± 1.7 α,B
	6.5%	39.6 ± 0.8 β,A	42.0 ± 1.0 β,B	41.5 ± 0.3 α,AB
	13%	42.6 ± 0.5 χ,A	46.5 ± 0.6 χ,B	45.6 ± 0.6 β,B
Bifactor ANOVA: maduración p < 0,0001 etanol P < 0,0001				
Astringencia pepitas (g/L)	0%	37.3 ± 0.2 α,A	39.9 ± 0.7 α,A	43.0 ± 1.7 α,B
	6.5%	39.6 ± 0.8 β,A	42.0 ± 1.0 β,B	41.5 ± 0.3 α,AB
	13%	42.6 ± 0.5 χ,A	46.5 ± 0.6 χ,B	45.6 ± 0.6 β,B
Bifactor ANOVA: maduración p < 0,0001 etanol P < 0,0001				

^a Todos los datos se expresan con la media de las 3 repeticiones + desviación. Análisis estadístico: prueba bifactor ANOVA y Scheffe (en ambos casos, p = 0,05) Las diversas letras indican la existencia de diferencias estadísticamente significativas. Las letras griegas (α,β,χ) se utilizan para comparar la influencia del etanol. Las letras latinas (A, B, C) se utilizan para comparar la influencia de la maduración.

Se puede concluir que la maduración tiene un efecto considerable sobre la extracción futura de color y de compuestos fenólicos durante la vinificación. En términos generales, la extracción de antocianos (de los hollejos) y de proantocianidinas (de los hollejos y las pepitas) es significativamente mayor cuando las uvas están más maduras. Este incremento es especialmente significativo entre la primera y segunda etapa de maduración. La madurez influye asimismo en la astringencia de los extractos de hollejos y pepitas. Aunque esta propiedad organoléptica negativa aumenta entre la primera y la segunda etapa de la maduración, disminuye significativamente cuando las uvas empiezan a estar maduras.

Por otro lado, la presencia de etanol en el medio de extracción facilita la extracción de antocianos y en especial de proantocianidinas. Por consiguiente, el tiempo

de la maceración puede determinar la concentración de proantocianidinas y la astringencia de los vinos tintos. Una maceración corta inducirá que los vinos tengan una baja concentración de proantocianidinas y una astringencia reducida, porque las pepitas y hollejos sólo habrán estado en contacto con un medio rico en etanol durante un breve espacio de tiempo. Por otro lado, una maceración prolongada producirá vinos con una alta concentración de proantocianidinas y una alta astringencia, porque los hollejos y en especial las pepitas habrán estado en contacto con un medio rico en etanol durante un largo periodo de tiempo. El efecto sobre la astringencia del vino será mayor si las uvas están menos maduras. Además, el contenido potencial de etanol de las uvas también puede determinar la concentración de proantocianidinas y la astringencia del vino durante la vinificación.

III.4.4. Agradecimientos

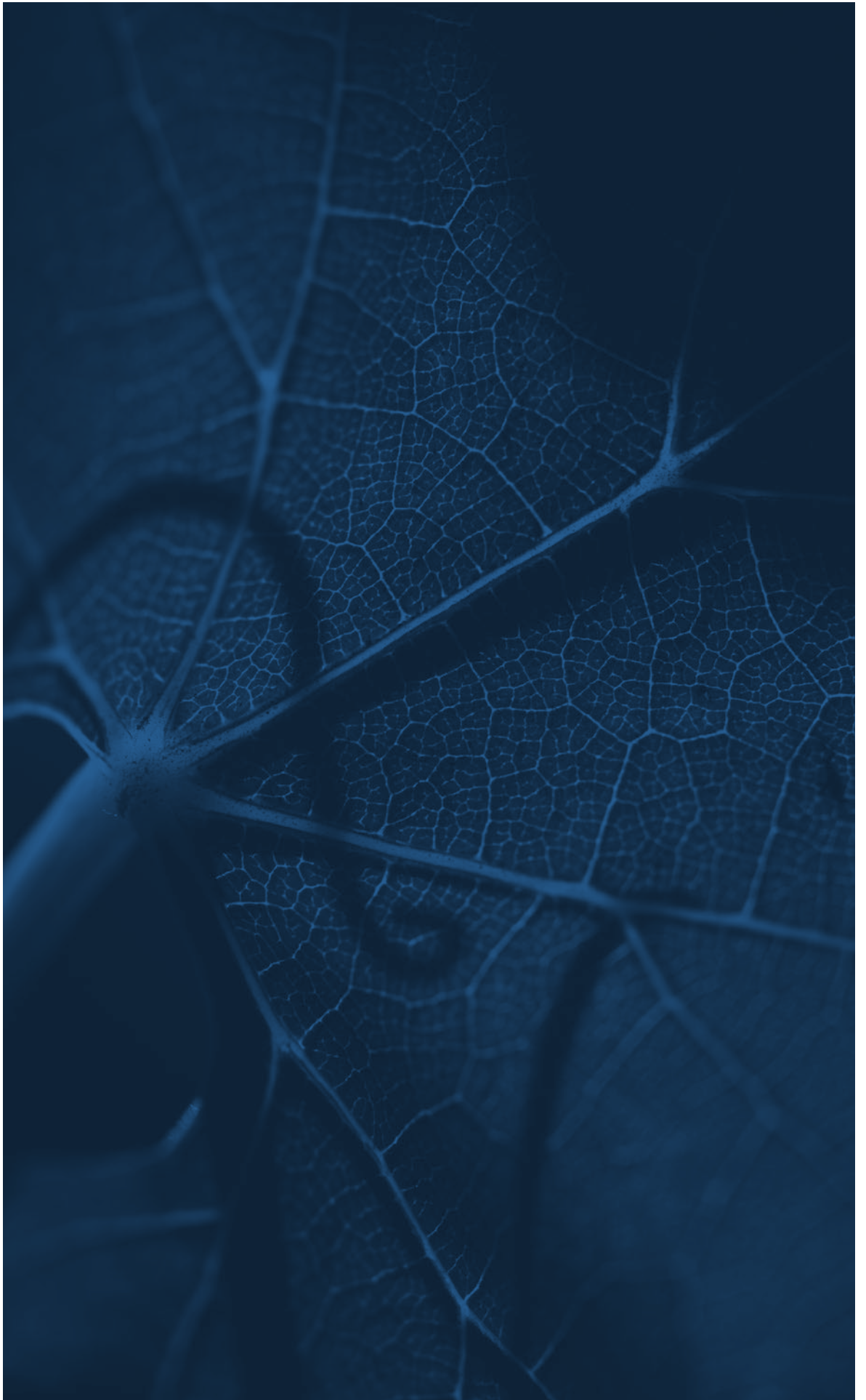
Agradecemos a CIGYT (AGL 2001-0716) su apoyo financiero.

III.4.5. Referencias bibliográficas

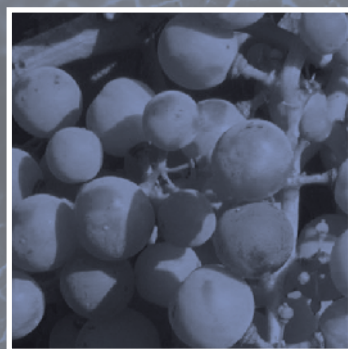
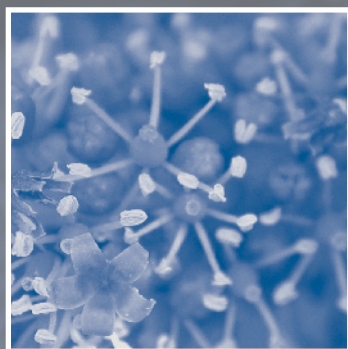
- Glories, Y.** La couleur des vins rouges. 1e. Partie: Les équilibres des anthocyanes et des tannins. *Conn. Vigne Vin.* 1984, 18, 195-217.
- Amrani Joutei, K.; Glories, Y.** Tanins et anthocyanes: localisation dans la baie de raisin et mode d'extraction. *ReV. Fr. OEnol.* 1995, 153, 28-31.
- Kliewer, W. M.** Influence of temperature, solar radiation and nitrogen on coloration and composition of Emperor grapes. *Am. J. Enol. Vitic.* 1977, 28, 96-103
- Lanaridis, P.; Bena-Tzourou, I.** Etude des variations des anthocyanes pendant la maturation des raisins de cinq cépages rouges, cultivés en grèce. *J. Int. Sci. Vigne Vin.* 1997, 31 (4), 205-212,(4)
- Fernández-López, J. A.; Hidalgo, V.; Almela, L.; López Roca, J. M.** Quantitative changes in anthocyanin pigments of *Vitis Vinifera* cv Monastrell during maturation. *J. Sci. Food Agric.* 1992, 58, 153-155.
- Cacho, J.; Fernandez, P.; Ferreira, V.; Castells, J. E.** Evolution of five anthocyanidin-3-glucosides in the skin of the Tempranillo, Moristel, and Garnacha grape varieties and influence of climatological variables. *Am. J. Enol. Vitic.* 1992, 43, 244-248.
- Gonzalez-SanJose, M. L.; Diez, C.** Compuestos fenólicos en el hollejo de uva tinta durante la maduración. *Agrochimica* 1992, 36, 63-70.
- Gonzalez-SanJose, M. L.; Barron, L. J. R.; Diez, C.** Evolution of anthocyanins during maturation of Tempranillo grape variety, *Vitis Vinifera*, using polynomial regression models. *J. Sci. Food. Agric.* 1990, 51, 337-343.
- Ribéreau-Gayon, J.; Ribéreau-Gayon, P.** The anthocyanins and leucoanthocyanins of grapes and wines. *Am. J. Enol. Vitic.* 1959, 9, 1-9.
- Jordao A. M.; Ricardo da Silva, J. M.; Laureano, O.** Evolution of anthocyanins during grape maturation of two varieties (*Vitis Vinifera* L.), Castelão Francês and Touriga Francesa. *Vitis* 1998, 37, 93-94.
- Roggero, J. P.; Coen, S.; Ragonnet, B.** High performance liquid chromatography survey on changes in pigment content in ripening grapes of Syrah. An approach to anthocyanin metabolism. *Am. J. Enol. Vitic.* 1986, 37, 77-83.
- Boss, P. K.; Davies, C.; Robinson, S. P.** Anthocyanin composition and anthocyanin gene expression in grapevine sports differing in berry skin color. *Aust. J. Grape Wine Res.* 1996, 2, 163-170.
- Gonzalez-SanJose, M. L.; Santa-Maria, G.; Diez, C.** Anthocyanins as parameters for differentiating wines by grape variety, wine-growing region, and wine-making methods. *J. Food Compos. Anal.* 1990, 3, 54-66.
- Glories, Y.; Agustín, M.** Maturité phénolique du raisin, conséquences technologiques: application aux millésimes 1991 et 1992. In *Proceedings Colloque Journée Technique du CIVB; CIVB: Bordeaux, 1993; pp 56-61.*
- Ribéreau-Gayon, P.; Glories, Y.; Maujean, A.; Dubourdieu, D.** *Handbook of Enology; Wiley: Chichester, UK, 2000; Vol. 2, pp 129-185.*
- Gonzalez-Manzano, S.; Rivas-Gonzalo, J. C.; Santos-Buelga, C.** Extraction of flavan-3-ols from grape seed and skin into wine using simulated maceration. *Anal. Chim. Acta* 2004, 513, 283-289.
- Vidal, S.; Francis, L.; Guyot, S.; Marnet, N.; Kwiatkowski, M.; Gawel, R.; Cheyner, V.; Waters, E. J.** The mouth-feel properties of grape and apple proanthocyanidins in a wine-like medium. *J. Sci. Food Agric.* 2003, 83, 6, 564-573.
- Geny L.; Saucier, C.; Bracco, S.; Daviaud, F.; Glories, Y.** Composition and cellular localization of tannins in grape seeds during maturation. *J. Agric. Food Chem.* 2003, 51, 8051-8054.
- Downey, M.; Harvey, J.; Robinson, S.** Analysis of tannins in seeds and skins of Shiraz grapes throughout berry development. *Aust. J. Grape Wine Res.* 2003, 9, 15-27. *4024 J. Agric. Food Chem., Vol. 53, No. 10, 2005* Canals et al.
- Kennedy, J.; Matthews, M.; Waterhouse, A.** Changes in grape seed polyphenols during fruit ripening. *Phytochemistry* 2000, 55, 77-85.
- Kennedy, J.; Hayasaka, Y.; Vidal, S.; Waters, E.; Jones, G.** Composition of grape skin proanthocyanidins at different stages of berry development. *J. Agric. Food Chem.* 2001, 49, 5348-5355.
- Katalinic, V.; Males, P.** Compositional changes in grape polyphenols throughout maturation. *J. Wine Res.* 1997, 8, 169-177.
- Coombe, B. G.** Research on development and ripening of the grape berry. *Am. J. Enol. Vitic.* 1992, 43, 101-110.



- 24. Pardo, F.; Salinas, M. R.; Alonso, G. L.; Navarro, G.; Huerta, M. D.** Effect of diverse enzyme preparations on the extraction and evolution of phenolic compounds in red wines. *Food Chem.* 1999, 67, 135-142.
- 25. Wightman, J. D.; Price, S. F.; Watson, B. T.; Wrolstad, R. E.** Some effects of processing enzymes of anthocyanins and phenolics in Pinot Noir and Cabernet Sauvignon wines. *Am. J. Enol. Vitic.* 1997, 48, 39-48.
- 26. Couasnon, M.** Une nouvelle technique: La macération préfermentaire à froids. Extraction à la neige carbonique. 1ere partie. Resultats oenologiques. *ReV. Oenol.* 1999, 92, 26-30.
- 27. Feulliat, M.** Vinification du Pinot Noir en bourgogne par macération préfermentaire froid. *ReV. Oenol.* 1997, 82, 29-31.
- 28. Timberlake, C. F.; Bridle, P.** The effect of processing and other factors on the colour characteristics of some red wines. *Vitis* 1976, 15, 37-49.
- 29. Kovac, V.; Alonso, E.; Bourzeix, M.; Revilla, E.** Effect of several enological practices on the content of catechins and proanthocyanidins of red wines. *Am. J. Enol. Vitic.* 1992, 40, 1953-1957.
- 30. Bertuccioli, M.; Zini, S.; Siliani, A.; Picchi, M.** Valutazione sensoriale dei risultati di tecniche di vinificazione. *Ind. Bevande* 2002, 350-356.
- 31. Ryan J. M.; Revilla, E.** Anthocyanin composition of Cabernet Sauvignon and Tempranillo grapes at different stages of ripening. *J. Agric. Food Chem.* 2003, 51, 3372-3378.
- 32. Arozarena, I.; Ayestarán, B.; Cantalejo, M. J.; Navarro, M.; Vera, M.; Abril, I.; Casp, A.** Anthocyanin composition of Tempranillo, Garnacha and Cabernet Sauvignon grapes from high- and lowquality vineyards over two years. *Eur. Food Res. Technol.* 2002, 214, 303-309.
- 33. Peyrot des Gachons, C.; Kennedy J. A.** Direct method for determining seed and skin proanthocyanidin extraction into red wine. *J. Agric. Food Chem.* 2003, 51, 5877-5881.
- 34. Gonzalez-Neves, G.; Charamelo, J.; Balado, J.; Barreiro, L.; Bochicchio, R.; Gatto, G.; Gil, G.; Tesore, A.; Carbonneau, A.; Moutouned, M.** Phenolic potential of Tannat, Cabernet-Sauvignon and Merlot grapes and their correspondence with wine composition. *Anal. Chim. Acta* 2004, 513, 191-196.
- 35. Glories, Y.** La couleur des vins rouges. 2 partie. Mesure, origine et interpretation. *Conn. Vigne Vin.* 1984, 18, 253-271.
- 36. O. I. V.** Le recueil des méthodes internationales d'analyse des vins et des moûts. O. I. V., Ed.; Paris: 1990.
- 37. Boulton, R. B.** Methods for the assessment of copigmentation in red wines. Presented at the 47th Annual Meeting of the American Society for Enology and Viticulture, Reno, 1996.
- 38. Ribéreau-Gayon, P.; Stonestreet, E.** Les dosage des anthocyanes dans le ving rouge. *Bull. Soc. Chim.* 1965, 9, 2649-2652.
- 39. González-SanJosé, M.; Diez, C.; Santa María, G.; Garrido, J. L.** Análisis por cromatografía líquida de alta eficacia de los pigmentos antocianicos de uvas de *Vitis Vinifera* L. *An. Quím.* 1988, 84, 290-293.
- 40. Ribéreau-Gayon, J.; Stonestreet, E.** Dosage des tanins du vin rouge et determination de leur structure. *Chim. Anal.* 1966, 48, 188-196.
- 41. Llaudy, M. C.; Canals, R.; Canals, J. M.; Rozés, N.; Arola, I.; Zamora, F.** New method for evaluating astringency in red wine. *J. Agric. Food Chem.* 2004, 52, 7427-746.
- 42. Rivas-Gonzalo, J. C.; Gutierrez, Y.; Hebrero, E.; Santos-Buelga, C.** Comparisons of methods for the determination of anthocyanins in red wines. *Am. J. Enol.* 1992, 43 (2), 210-214.
- 43. Boulton, R.** The copigmentation of anthocyanins and its role in the color of red wine: A critical review. *Am. J. Enol. Vitic.* 2001, 52, 67-87.
- 44. Somers, T. C.; Evans, M. E.** Grape pigment phenomena: Interpretation of major colour losses during vinification. *J. Sci. Food Agric.* 1979, 30, 623-633.
- 45. Freitas, V. A. P.; Glories, Y.; Monique, A.** Developmental changes of procyanidins in grapes of red *Vitis Vinifera* varieties and their composition in respective wines. *Am. J. Enol. Vitic.* 2000, 51 (4), 397-403.
- 46. Escot, S.; Feullat, M.; Dulau, L.; Charpentier, C.** Release of polysaccharides by yeasts and the influence of released polysaccharides on colour stability and wine astringency. *Aust. J. Grape Wine Res.* 2001, 7 (3), 153-159.



III.5. Las vitisinas o piranoantocianos; nuevos pigmentos identificados en el vino tinto



245 III.5.1. Introducción

248 III.5.2. Referencias bibliográficas

Fernando ZAMORA MARÍN
 Unidad de Enología del Centro de Referencia en
 Tecnología (CeRTA).
 Departamento de Bioquímica y Biotecnología.
 Facultad de Enología de Tarragona.
 Universidad Rovira i Virgili.

Original publicado en en número 30 de la revista *Enólogos*

III.5.1. Introducción

Por todos es conocido que el color rojo del vino tinto es debido a la presencia de los antocianos [9,16]. Estos pigmentos, presentes en la piel de la uva, son extraídos durante la maceración y representan sin lugar a duda los principales responsables del color del vino tinto, al menos durante su juventud [5,16].

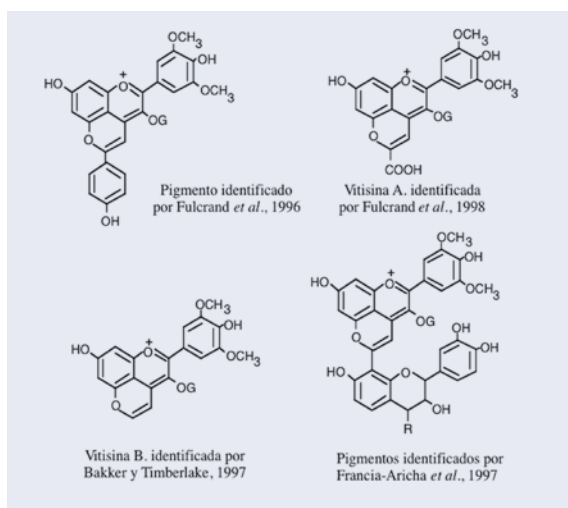
Sin embargo, el color del vino tinto es un fenómeno verdaderamente complejo en el que participan múltiples factores. La teoría establecida fundamenta que el color del vino tinto durante su juventud es debido básicamente a su concentración en antocianos [4,9,17], si bien el pH [8], la concentración en anhídrido sulfuroso libre [16] y la presencia de otros compuestos fenólicos que pueden actuar como copigmentos [3,17,20], también participa de forma muy patente. Posteriormente, a medida que el vino envejece, una parte de los antocianos desaparece por oxidación [10], y otra parte de ellos da lugar a combinaciones con las pro-cianidinas, también llamadas taninos condensados, lo que origina nuevos pigmentos más estables [9,16]. También de acuerdo con la teoría establecida, estas combinaciones, que serían las responsables del color de los vinos envejecidos, pueden generarse mediante reacción directa de los antocianos con los taninos, o bien mediante la participación del acetaldehído

5,16]. Este acetaldehído se originaría en una primera fase durante la fermentación alcohólica, y posteriormente durante la crianza del vino en bodega o gracias a la aplicación de la técnica de la microoxigenación [2,21]. El acetaldehído, que actuaría como nexo de unión entre antocianos y taninos, formando los denominados puentes etilo entre moléculas, justificaría los fenómenos de estabilización del color y suavización de la astringencia [5,16]. que se observan al envejecer los vinos tintos en bodega o al aplicarles la técnica de la microoxigenación [2,21].

Sin embargo, durante los últimos años, la aplicación de la técnica de HPLC unida a la espectrofotometría de masas ha permitido la identificación de una familia de nuevos pigmentos, las vitisinas o piranoantocianos [6,7,11,18]. Este descubrimiento ha abierto nuevas puertas al conocimiento del fundamento químico del color del vino tinto y han comportado una cierta revisión de la teoría establecida [13,15].

El primero de estos piranoantocianos, la vitisina A, fue identificada por el grupo de Pascal Sarni, Veronique Cheynier y Michel Moutounet, del INRA de Montpellier en 1996 [8]. Posteriormente, el grupo de Bakker y Timberlake, en 1997 confirmó el hallazgo e identificó un nuevo piranoantociano, la Vitisina B [1]. En la Figura 1 se muestra la estructura química de ambos piranoantocianos, las vitisinas A y B, así como las estructuras de otros 2 tipos de piranoantocianos también descritos en el vino tinto [6,8].

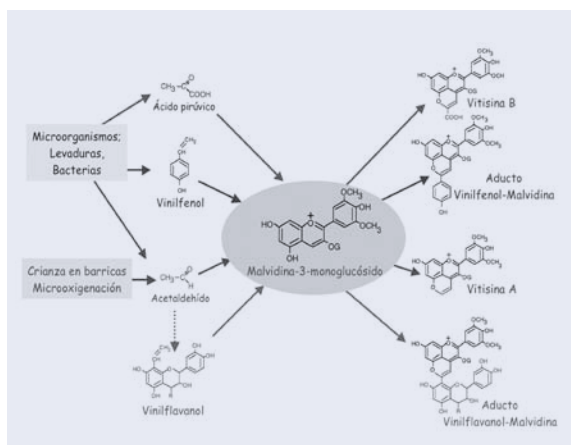
Figura 1
 Nuevos pigmentos identificados en el vino tinto



Los piranoantocianos o vitisinas presentan unas propiedades muy particulares, lo que les convierte en los candidatos perfectos para ser una componente importante del color de los vinos envejecidos. Así pues, los piranoantocianos presentan un color rojo anaranjado, son muy poco sensibles a los cambios de pH y a la decoloración con SO₂ y son químicamente muy estables [1,6,18]. Como podéis ver, un conjunto de propiedades que definen perfectamente las características del color de los vinos que han sido sometidos a largas crianzas.

El origen químico de estos nuevos pigmentos no está del todo claro. Sin embargo, parece que provienen de los antocianos mediante un proceso de cicloadición,

Figura 2
Posibles mecanismo de formación de los piranoantocianos



en él que podrían participar el acetaldehído, el ácido pirúvico, el vinilfenol o incluso restos vinilflavanol [6,7,15]. La Figura 2 muestra esquemáticamente sus posibles mecanismos de síntesis.

Así la vitisina A se formaría a partir del ácido pirúvico, liberado por la levaduras durante la fermentación alcohólica, mediante un complejo mecanismo de cicloadición a la malvidina. La posterior deshidratación y rearomatización darían lugar a la estructura definitiva de la molécula. A su vez, la vitisina B se formaría a partir de la malvidina y del acetaldehído liberado durante la fermentación alcohólica, o bien del procedente de la oxidación del etanol durante la crianza del vino en barricas o la microoxigenación. La reacción de formación de la vitisina B, sería por lo tanto prácticamente idéntica a la descrita para vitisina A.

En este sentido, es necesario señalar que muy recientemente, el grupo de Suarez Lepe, ha demostrado que existe una relación directa entre la capacidad de formación de ácido pirúvico y de acetaldehído por parte de las diferentes cepas de levadura, y la correspondiente aparición de vitisina A y vitisina B respectivamente [14]. Este estudio abre nuevas posibilidades, ya que se podría seleccionar la levadura a utilizar en la fermentación alcohólica con el criterio de su capacidad de favorecer la formación de estos nuevos pigmentos.

Otro piranoantociano que también ha sido identificado en el vino tinto sería el correspondiente al aducto entre la malvidina y el vinilfenol (Figura 1). Este pigmento se originaría también mediante la cicloadición del vinilfenol a la malvidina, siguiendo un mecanismo muy parecido al descrito para las vitisinas A y B (Figura 2) [7,17]. El vinilfenol procedería de la descarboxilación por parte de algunas levaduras y bacterias del ácido cinámico presente de forma natural en el vino. De hecho, los vinos blancos suelen ser mucho más ricos en vinilfenol que los vinos tintos, y una posible explicación sería que el vinilfenol que se formaría en los

vinos tintos sería consumido en la formación de este piranoantociano.

Finalmente, otro conjunto de piranoantocianos, de estructura aún más compleja, ha sido identificado. Se trataría de aductos entre la malvidina y restos vinilflavanol (Figura 1) [6,17]. Su mecanismo de formación sería también similar al descrito para los otros piranoantocianos (Figura 2). Ahora bien, ¿de donde procederían estos restos vinilflavanol?. En la Figura 3 se muestra esquemáticamente su posible origen. Como ya se ha comentado, la presencia de acetaldehído procedente del metabolismo de las levaduras o de la oxidación de etanol durante la crianza del vino en barricas o cuando se aplican técnicas como la microoxigenación, actúa favoreciendo la formación de uniones tipo “puentes etilo” entre flavanoles, también llamados procianidinas o simplemente taninos, y/o antocianos. Estas uniones serían las principales responsables, según algunos autores, de la polimerización progresiva de los taninos y de la estabilización del color mediante la unión de los antocianos a los taninos. Pues bien, también según algunos autores, estas uniones son en realidad inestables [17], y tal y como se indica en la Figura 3, podrían romperse generando la formación de unidades flavanol-etilo o flavanol-vinilo [17]. Las unidades flavanol-etilo reaccionarían de nuevo generando nuevos polímeros, mientras que las unidades flavanol-vinilo podrían generar piranoantocianos como los descritos.

Después de todo lo expuesto, queda claro que los piranoantocianos están presentes en el vino tinto y que su formación puede verse favorecida durante envejecimiento, gracias a la participación directa del acetaldehído, o bien mediada a través de la formación previa de los vinilflavanoles. Ahora bien, podemos preguntarnos ¿Cuál es la importancia real de la contribución al color de los piranoantocianos?. Hasta el momento actual, su contribución es aún objeto de estudio. De entrada su concentración en el vino es mucho menor que la de los otros pigmentos, lo que hace difícil poder adjudicarles un papel preponderante. Sin embargo, los piranoantocianos presentan muy poca dependencia del pH, por lo que al pH del vino tinto (cercano a 4) la práctica totalidad de los piranoan-

Figura 3
Reacciones mediadas por el acetaldehído

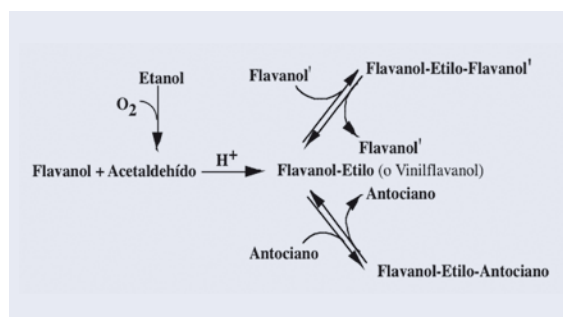
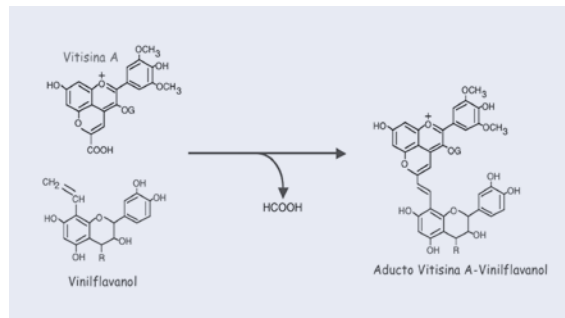


Figura 4
Posibles mecanismo de formación de los nuevos pigmentos azules



tocianos presentes participan en el color, mientras que solo una pequeña parte de los antocianos libres o combinados lo harán. Por ello su contribución real podría ser mayor que la que resulta de la comparación directa entre sus concentraciones [17].

Muy recientemente, un grupo de investigadores alemanes y chilenos ha determinado el umbral de percepción visual de la vitisina A y lo ha comparado con el de la malvidina [19]. Naturalmente, estos valores fueron determinados a un determinado pH, concretamente a 3,6. La Tabla 1 muestra los resultados de este estudio. En ella se puede deducir que la vitisina A, a un pH de 3,6 presenta una intensidad de color visual 4 veces superior a la de la malvidina. Estos mismos autores, tras determinar la concentración de vitisina A en dos vinos de ya cierta edad, llegaron a la conclusión de que este pigmento contribuía con un 4,5 % del color de un vino de pinotage de 1996, y con un 3,1 % del color de un cabernet sauvignon de 1997. Evidentemente, estos porcentajes no son para tirar cohetes de alegría. Sin embargo debemos considerar que únicamente hacen referencia a la vitisina A. Posiblemente si añadiéramos, la contribución, aún no determinada, de la vitisina B, junto con la de los aductos vinilfenol-

Tabla 1
Umbral de detección visual de la vitisina A en comparación con la malvidina-3 monoglucosido

	Umbral de detección visual (mg/l)
Malvidina-3-monoglucosido	0,138
Vitisina A	0,034

Extraído de Schwarz et al. (2003)

malvidina, y la del conjunto de aductos vinilflavanol-malvidina, encontraríamos valores ya claramente significativos.

Además, estos pigmentos han sido descubiertos hace relativamente muy poco y es bastante probable que existan otros piranoantocianos aún no identificados. Si así fuera, la aportación del conjunto de todos ellos podría representar una parte importante del color, al menos en los vinos añejos [17].

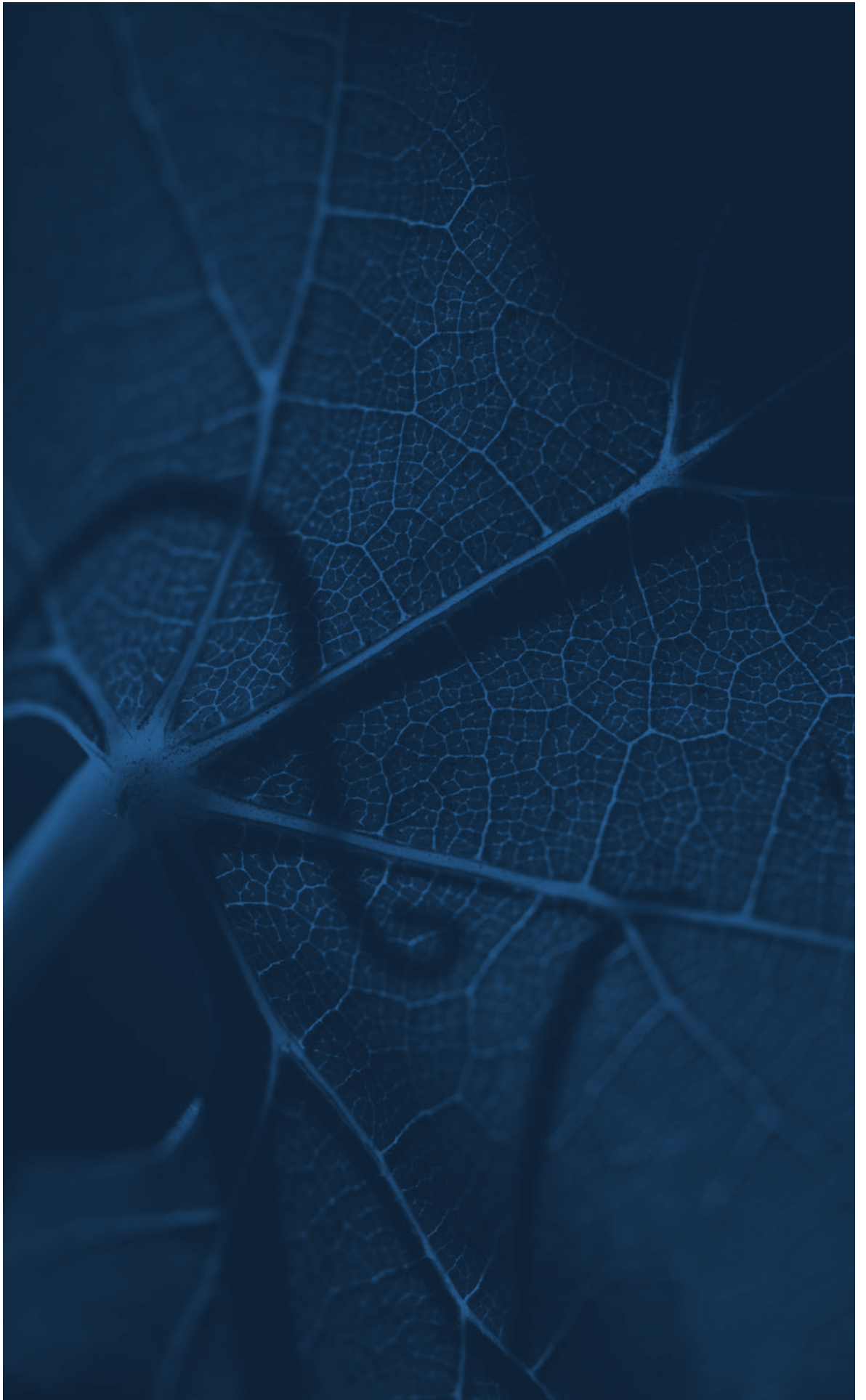
De hecho, muy recientemente se ha identificado una nueva familia de pigmentos derivados de la vitisina A, que serían de color azul [19]. Hasta el momento, tan sólo se han encontrado en los vinos de Oporto, pero no podemos descartar que pronto sean identificados en vinos de crianza tradicional.

Resumiendo todo lo expuesto, se puede concluir que el estudio de los fundamentos químicos del color del vino tinto es aún un tema abierto. El conocimiento actual de la estructura química de los pigmentos responsables del color de los vinos tintos sometidos a procesos de crianza puede ser comparado a un iceberg, del cual tan sólo vislumbramos la pequeña parte que sobresale por encima del mar. No obstante, los nuevos pigmentos identificados abren un nuevo campo de visión, gracias al cual, algunas de las incógnitas del presente serán aclaradas en un futuro próximo.



III.5.2. Referencias bibliográficas

1. **Bakker, J., Timberlake, C.F. 1997** Isolation, identification and characterization of new color-stable anthocyanins occurring in some red wines. *J. Agric. Food Chem.*, 45, 35-43.
2. **Boulet, J.C. y Moutounet, M. 2000** Micro-oxigenación de los vinos. En "Enología: Fundamentos científicos y tecnológicos". Ed. Claude Flancy, Mundiprensa, Madrid. pp 638-640.
3. **Boulton, R.B 2001** The copigmentation of Anthocyanins and its role in the color of red wine: A critical review. *Am. J. Enol. Vitic.*, 52, 67-87.
4. **Brouillard, R. 1982** Chemical structure of anthocyanins. En "Anthocyanins as food color", Ed. P. Markakis, Academic Press, New York, pp 1-40.
5. **Cheyrier, V., Moutounet, M. y Sarni-Manchado, P. 2000** Los compuestos fenólicos. En "Enología: Fundamentos científicos y tecnológicos". Ed. C. Flancy, Mundiprensa, Madrid. pp 114-136.
6. **Francia-Aricha, E., Guerra, M.T., Rivas-Gonzalo, J.C.; y Santos-Buelga, C. 1997** New anthocyanes pigments formed after condensation with flavanols. *J. Agric. Food Chem.*, 45, 2262-2266.
7. **Fulcrand, H., Benabdeljalil, C., Rigaud, J., Cheyrier, V. y Moutounet, M. 1998** A new class of wine pigments generated by reaction between pyruvic acid and grape anthocyanins. *Phytochemistry*, 47, 1401-1407.
8. **Fulcrand, H., Camera dos Santos, P.J., Sarni Manchado, P., Cheyrier, V., Fabre Bonvin, J. 1996** Structure of new anthocyanin-derived wine pigment. *J. Chem. Soc., Perkin Trans.*, 1, 735-739.
9. **Glories, Y. 1984** La couleur des vins rouges. 1ère partie Les equilibres des anthocyanes et des tanins. *Conn. Vigne Vin*, 18, 195-217.
10. **King, G.A., Swenny, J.C. Radford, T. y Iacobucci, G.A. 1980** The ascorbic/O₂ degradation of anthocyanidins. *Bull. Liaison Groupe Polyphenols*, 9, 121-128.
11. **Mateus, N., Freitas, V. 2001** Evolution and stability of anthocyanin-derived pigments during Port wine aging. *J. Agric. Food Chem.*, 49, 5217-5222.
12. **Mateus, N., Silva, A.M.S., Rivas-Gonzalo, J.C., Santos-Buelga, C., Freitas, V. 2003** A new class of blue anthocyanin-derived pigments isolated from red wines. *J. Agric. Food Chem.*, 51, 1919-1923.
13. **Mateus, N., Silva, A.M.S., Vercauteren, J., Freitas, V. 2001** Occurrence of anthocyanin-derived pigments in red wines. *J. Agric. Food Chem.*, 49, 4836-4840.
14. **Morata, A., Gómez-Cordovés, M.C., Colomo, B., Suarez, J.A. 2003** Pyruvic acid and acetaldehyde production by different strains of *Saccharomyces cerevisiae*: Relationship with Vitisin A and B formation in red wines. *J. Agric. Food Chem.*, 51, 7402-7409.
15. **Quintana, A.M. 2001** Fraccionamiento y estudio preliminar de la materia colorante del vino tinto. Tesis Doctoral. *Universidad de Salamanca*.
16. **Ribéreau-Gayon, P., Glories, Y., Maujean, A. Y Dubourdieu 1999** Phenolic Compounds. En "Handbook of enology, Vol 2 The chemistry of wine, Stabilization and treatments". John Wiley & sons, Ltd, Chichester, pp 129-186.
17. **Santos-Buelga, C. 2001** Substancias polifenólicas y color del vino tinto. En *Enología avui*, Ed. A. Mas. *Facultat d'Enologia, Tarragona*, pp 29-37.
18. **Sarni-Manchado, P., Fulcrand, H., Souquet, J.M., Cheyrier, V., Moutounet, M. 1996** Stability and color of unreported wine anthocyanin-derived pigments. *J. Food Sci.*, 61, 938-941.
19. **Schwarz, M., Quast, P., Von Baer, D., Winterhalter, P. 2003** Vitisin A content in Chilean wines from *Vitis vinifera* Cv. Cabernet Sauvignon and contribution to the color of aged red wines. *J. Agric. Food Chem.*, 51, 6261-6267.
20. **Zamora, F. 2003** La copigmentación; Un factor determinante del color del vino tinto. *Enólogos*, 26, 24-28.
21. **Zamora, F. 2003** Elaboración y crianza del vino tinto; Aspectos científicos y prácticos. Ed. *AMV ediciones y Mundiprensa, Madrid*.



Control del viñedo en los vinos de calidad

Los vinos se producen en el viñedo. La calidad de la vendimia es quizás el factor de mayor importancia que participa en la elaboración de los vinos, estando muy por delante de cualquier proceso o técnica seguida en la bodega.

Los aspectos más relevantes que participan en el cultivo de la vid, que pueden ser controlados por el viticultor o por el enólogo interesado, son los que influyen directamente en la maduración de la uva durante la última etapa del ciclo vegetativo de la vid. La medición o evaluación de estos factores, así como su interpretación y actuación consecuente, supone disponer de una potente herramienta para la obtención de vinos de calidad.

El V Encuentro Enológico sobre **Control del viñedo en los vinos de calidad**, analiza los principales factores que inciden en el viñedo para obtener vinos de calidad. Donde el suelo vuelve a tomar un gran protagonismo en la definición de los vinos, teniendo en cuenta además la influencia del manejo de la vegetación del viñedo en la calidad de los vinos, así como también la necesidad de controlar rigurosamente la disponibilidad del agua por las cepas, y terminando por el conocimiento de los más recientes métodos disponibles en el control de calidad de las vendimias. Los ponentes que participan en este Encuentro son algunos de los más valorados en estas materias a nivel mundial.



Pza. del Perú, 1- esc. izda. 1ª A
28016 Madrid
Tel. 91 343 07 08/09 • Fax 91 345 35 25
fundacion@culturadelvino.org
www.culturadelvino.org

