

Universidad Pública de Navarra

ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE  
INGENIEROS AGRÓNOMOS

*Nafarroako Unibertsitate Publikoa*

*NEKAZARITZA INJINIRUTZAREN  
GOI-MAILAKO ESKOLA TEKNIKOA*

Comparación de métodos para la determinación del  
estado hídrico en viñedos de la variedad “Tempranillo”

*“Tempranillo” bariatateko mahastietako estres  
hidrikoa determinatzeko metodoen ebaluaketa*

Presentado por:

Jokin García Etxeberria -k

*aurkeztua*

INGENIERO TÉCNICO AGRÍCOLA EN HORTOFRUTICULTURA Y JARDINERÍA

*NEKAZARITZA INJINIRU TEKNIKOA BARATZAZAINTZA, FRUTAGINTZA ETA  
LOREZAZAINTZA ESPEZIALITATEAN*

Junio 2010/ 2010-eko ekaina

**UNIVERSIDAD PÚBLICA DE NAVARRA**  
**NAFARROAKO UNIBERTSITATE PUBLIKOA**

ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIEROS AGRÓNOMOS  
*NEKAZARITZA INGENIARITZAREN GOI-MAILAKO ESKOLA*  
*TEKNIKOA*

“Comparación de métodos para la determinación del estado hídrico  
en viñedos de la variedad “Tempranillo””

*““Tempranillo” barietateko mahastietako estres hidrikoa  
determinatzeko metodoen ebaluaketa”*

Trabajo de Fin de Carrera  
presentado por Don Jokin García Etxeberria  
al objeto de optar al título de Ingeniería  
Técnica Agrícola. Dirigido por Gonzaga  
Santesteban García y M<sup>ª</sup> Jesús Laquidáin  
Imirizaldu, profesores ayudantes del  
Departamento de Producción Agraria.

*Nekazaritza Injinirutza teknikoko  
titulua eskuratzeko helburuarekin Jokin  
García Etxeberriak aurkeztutako Karrera  
amaierako lana. Gonzaga Santesteban  
Garcíak eta M<sup>ª</sup> Jesús Laquidáin Imirizaldu  
zuzendua, Nekazal ekoizpeneko saileko  
irakasle laguntzaileak.*

El Director

La Directora

Autor

*Zuzendaria*

*Zuzendaria*

*Egilea*

L. Gonzaga Santesteban  
García

M<sup>ª</sup> Jesús Laquidáin Imirizaldu

Jokin García Etxeberria

### Agradecimientos:

Quiero dar las gracias a la Fundación Fuentes Dutor y al Gobierno de Navarra (Departamento de Innovación, Empresa y Empleo) por haber hecho posible este trabajo y al personal de Bodegas Ochoa por su entera disponibilidad. Al alcalde Inestrillas y la gente del laboratorio por haberme ayudado con el trabajo y por esos almuerzos.

Agradecer también a Gonzaga y Mariaje por ayudarme con el trabajo pero sobre todo por enseñarme tantas cosas sobre la viticultura.

### Eskerrak:

*Fuentes Dutor Fundazioari eta Nafarroako Gobernuari (Berrikuntza, Empresa eta Lan departamentuari) eskerrak eman nahi dizkiot lan hau aurrera eramatea posible egiteagatik; baita Ochoa Bodegei beraien prestasunagatik ere. Inestrillasko alkateari eta laborategiko jendeari lanarekin laguntzeagatik eta hamaiketako horiengatik.*

*Gonzaga eta Mariajeri ere eskertu nahiko nieke lan honekin lagundu izana gatik baina batez ere mahasgintzari buruz erakutsitakoagatik.*

## **RESUMEN**

**Palabras clave:** *Vitis vinifera* L., estrés hídrico, potencial hídrico, temperatura de canopy, humedad relativa, déficit de presión de vapor de agua, riego.

**Keywords:** *Vitis vinifera* L., water stress, water potential, canopy temperature, humidity, vapour pressure deficit, irrigation.

Uno de los mayores condicionantes de la calidad y cantidad de la cosecha en viñas con un clima semiárido es el régimen hídrico. Para poder controlar bien este factor, es imprescindible el uso de métodos rápidos y fiables que permitan determinar el estado hídrico de las plantas. Solo de esta manera se puede hacer un buen manejo del riego y mantener así las condiciones de estrés más oportunas en cada momento.

El objetivo de este trabajo es evaluar diferentes métodos que podrían utilizarse para estimar el estado hídrico de las plantas, comparándolos con el potencial hídrico de antes del amanecer.

El ensayo fue realizado en diferentes viñas, en el término municipal de Traibuenas. Se trataron cepas con distinta carga y en días con diferentes condiciones climáticas para obtener mayor variabilidad. Los métodos evaluados son el potencial xilemático de media mañana (Px9), el de mediodía (Px12) y la temperatura de canopy.

Ninguno de los métodos que se han evaluado ha sido suficiente para estimar por sí mismo el estado hídrico del viñedo, y por tanto las medidas de potencial hídrico antes del amanecer no pueden sustituirse por ninguna de estas variables. Únicamente el potencial xilemático a media mañana podría considerarse moderadamente adecuado, siempre y cuando se tuviesen en cuenta las condiciones meteorológicas del día, ya sean obtenidas de estaciones meteorológicas o, con mayor precisión, considerando medidas de temperatura de canopy de la cara expuesta al sol.

## ÍNDICE

1.- ANTECEDENTES .....	4
1.1.- Situación actual de la vid .....	4
1.1.1.- La vid en el mundo .....	4
1.1.2.- La vid en España .....	5
1.1.3.- La vid en Navarra .....	6
1.2.- Botánica .....	8
1.3.- Morfología de la vid .....	9
1.3.1.- Parte radicular.....	9
1.3.2.- Parte aérea.....	10
1.3.2.1.- Troncos y brazos .....	10
1.3.2.2.- Pámpanos y sarmientos .....	10
1.3.2.3.- Hojas .....	11
1.3.2.4.- Zarcillos e inflorescencias .....	12
1.3.2.5.- Yemas.....	12
1.3.2.6.- Racimos y bayas .....	13
1.4.- Ciclo vegetativo.....	14
1.4.1.- Lloro .....	14
1.4.2.- Brotación o desborre .....	14
1.4.3.- Crecimiento.....	14
1.4.4.- Agostamiento.....	15
1.4.5.- Caída de las hojas.....	16
1.5.- Ciclo reproductor .....	16
1.5.1.- Iniciación floral.....	16
1.5.2.- Floración, polinización, fecundación y cuajado .....	17
1.6.- Crecimiento y maduración de las bayas .....	18
1.6.2.- Acumulación de azúcares.....	18
1.6.3.- Disminución de la acidez.....	19
1.6.4.- Compuestos fenólicos.....	19
1.7.- El agua en la planta .....	20
1.7.1.- Funciones .....	21
1.7.2.- Absorción .....	21
1.7.3.- Transporte.....	22
1.8.- Efecto del régimen hídrico en la vid.....	22
1.8.1.- Efectos sobre el desarrollo vegetativo.....	23
1.8.2.- Efectos sobre el desarrollo reproductivo y la producción .....	23
1.8.3.- Efectos sobre la calidad de la cosecha .....	23
1.9.- Determinación del estrés hídrico en viñedo .....	24
1.9.1.- Métodos de estimación .....	24
1.9.1.1.- Humedad de suelo .....	25
1.9.1.2.- Cálculos de balance hídrico en el suelo .....	25
1.9.2.- Métodos directos .....	25
1.9.2.1.- Potencial hídrico .....	25
1.9.2.2.- Potencial xilemático .....	26
1.9.2.3.- Flujo de savia.....	27
1.9.2.4.- Dendrometría.....	28
1.9.2.5.- Termografía de infrarrojos.....	28

2.- OBJETIVO.....	29
3.- MATERIAL Y MÉTODO .....	30
3.1.- Materiales .....	30
3.1.1- Material vegetal .....	30
3.1.2.- Material instrumental .....	30
3.2.- Método .....	30
3.2.1.- Diseño del ensayo .....	30
3.2.2.- Controles realizados.....	31
3.2.2.1.- Potencial hídrico al amanecer (Phaa) .....	31
3.2.2.2.- Potencial xilemático (Px9, Px12) .....	31
3.2.2.3.- Temperatura de canopy (Tcan).....	32
3.2.3.- Variables climáticas.....	32
3.2.3.1.- Parámetros registrados.....	32
3.2.3.2.- Parámetros calculados .....	33
3.2.4.- Tratamiento de datos.....	33
4.- RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....	34
4.1.- Evaluación de la relación existente entre el potencial hídrico antes del amanecer y el potencial xilemático. ....	34
4.1.1- Comparación del momento de medida del potencial xilemático.....	34
4.1.2.- Evaluación del efecto de las variables climáticas en el momento de medida del Potencial Hídrico. ....	35
4.1.3.- Evaluación de la relación de la temperatura de las hojas con el momento de medida del Potencial Hídrico. ....	37
4.2.- Evaluación de la relación entre la temperatura de canopy y el potencial hídrico y xilemático. ....	38
4.2.1.- Evaluación de la relación existente entre la diferencia de temperaturas planta-aire y potencial hídrico y xilemático. ....	38
4.2.2.- Evaluación de la relación existente entre la diferencia de temperaturas planta-aire y potencial xilemático introduciendo variables climáticas. ....	39
4.3.- Evaluación de la capacidad de discriminación de las medidas de potencial hídrico y T <sup>a</sup> canopy a distintas horas del día .....	40
5.- CONCLUSIONES .....	42
6.- BIBLIOGRAFÍA.....	43

## **ÍNDICE DE CUADROS**

Cuadro N <sup>o</sup> 1: Superficie de viña por comunidades autónomas.....	6
Cuadro N <sup>o</sup> 2: relación del Potencial xilemático a las 9 y a las 12 (Px9h y Px12h) con el potencial hídrico antes del amanecer (Phaa).....	34
Cuadro N <sup>o</sup> 3: resultados del análisis de regresión múltiple entre el potencial xilemático a las 9 y 12 horas (Px9h y Px12h) con el estado hídrico antes del amanecer (Phaa) y variables climáticas.....	35
Cuadro N <sup>o</sup> 4: relaciones entre los potenciales hídricos antes del amanecer (Phaa) y temperaturas de canopy con potenciales xilemáticos a las 9 y 12 horas (Px9h y Px12h).....	37
Cuadro N <sup>o</sup> 5: relación entre la diferencia de temperatura planta-aire y las medidas de estado hídrico (Phaa, Px9h y Px12h).....	38
Cuadro N <sup>o</sup> 6: relación entre diferencia de temperatura planta-aire con estado hídrico (Phaa y Px9h) y variables climáticas (HR, T <sup>a</sup> y DPV) medidas al amanecer y a las 9 horas....	39

Cuadro N°7: capacidad de discriminar para cada tipo de medida según “ratio de discriminación” .....	40
---	----

## **ÍNDICE DE FIGURAS**

Figura N° 1: Reparto de la superficie de viña plantada en el mundo. ....	4
Figura N° 2: Evolución de la superficie y producción mundial (1971 – 2005). ....	5
Figura N° 3: Superficie de viña en Navarra. ....	7
Figura N° 4: Producción de uva en Navarra. ....	7
Figura N° 5: relación entre la temperatura y el déficit de presión de vapor de agua (DPV) a las 9 de la mañana. ....	36

## 1.- ANTECEDENTES

### 1.1.- Situación actual de la vid

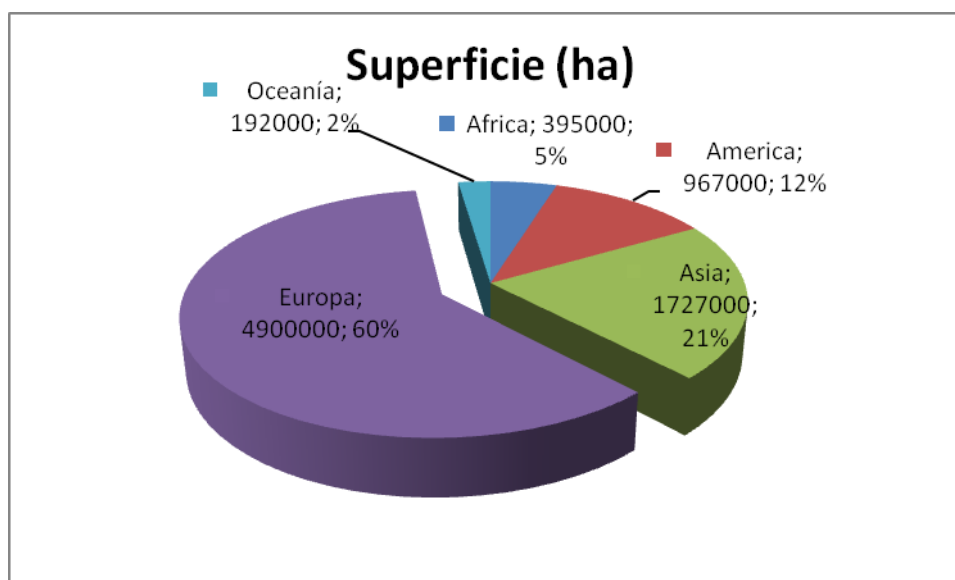
#### 1.1.1.- La vid en el mundo

La vid es un cultivo que crece en las zonas cálidas de todo el mundo. Ha tenido especial trascendencia en Europa occidental, los Balcanes, California, Australia, Sudáfrica o países sudamericanos como Chile y Argentina. Son zonas templadas comprendidas entre 20 y 50º Norte- Sur del ecuador.

En estas regiones, el ciclo de la vid está regulado por cuatro estaciones bien diferenciadas. Durante las estaciones de primavera, verano y otoño se da el crecimiento vegetativo. Es a finales de otoño cuando la planta entra en reposo, echa las hojas y empieza a acumular horas de frío para en primavera empezar otro ciclo vegetativo.

Más de la mitad de la viña plantada en el mundo se encuentra en Europa. Esto se debe a la tradición vitivinícola que ha tenido este continente durante miles de años. Sin embargo, a día de hoy hay una sobreproducción, lo que está provocando el arranque de muchas viñas. En la figura Nº 1 se muestra cual es el reparto de la superficie plantada con vid en el mundo.

Figura Nº 1: Reparto de la superficie de viña plantada en el mundo.



Fuente: Organización internacional de la viña y el vino (2005).

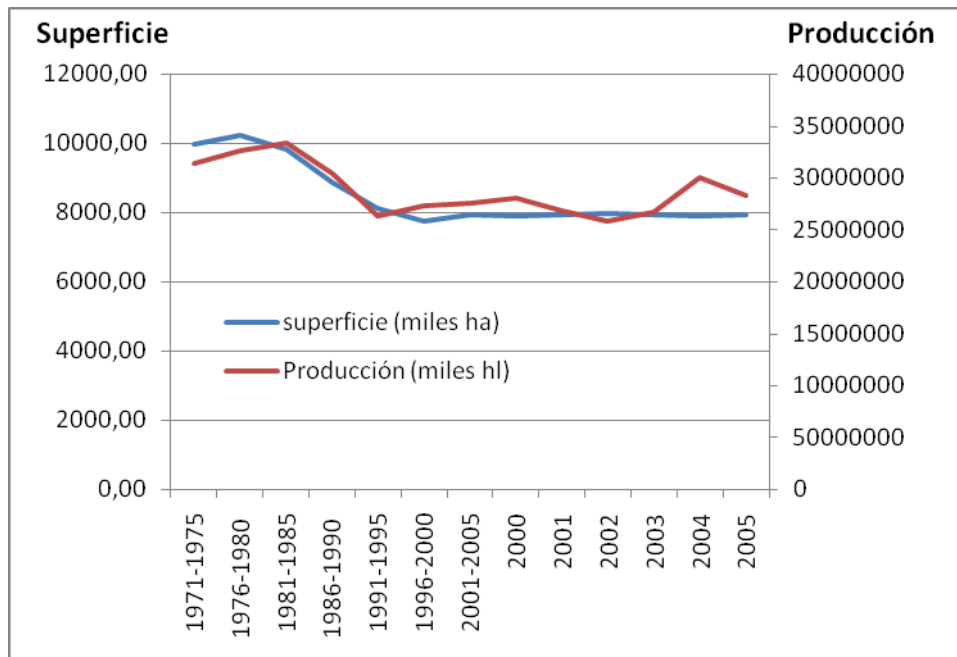
Los demás continentes están experimentando una subida de superficie plantada con vid. En especial Asia, que produce una gran cantidad de uva para productos no vinificados. Dentro de Asia son Irán, Turquía y Siria los países que más viñedo han plantado junto a China. La mayor concentración de vid en África se da en Egipto y Sudáfrica, que siguen aumentando de superficie con 4000 nuevas hectáreas en 2004. La cantidad de viñedos sudamericanos sigue



aumentando en un 1,5% gracias, sobre todo, a Argentina y Brasil. Chile también aumentó la superficie dedicada a la vid pero en menor medida.

Como se muestra en la figura Nº 2, la superficie de viñedos en el mundo tuvo su máximo a finales de los setenta y principios de los ochenta. Tras veinte años de reducción de superficie y más de dos millones de hectáreas arrancadas, parece que ahora se ha estabilizado situándose la superficie global del 2005 en 7.929.000 ha.

Figura Nº 2: Evolución de la superficie y producción mundial (1971 – 2005).



Fuente: Organización internacional de la viña y el vino (2005).

El consumo mundial de vino también tuvo una tendencia negativa hasta los noventa. A partir de ahí ha cogido una ligera tendencia a subir gracias, en parte, a la apertura de nuevos mercados.

### 1.1.2.- La vid en España

España ha sido, desde hace siglos, uno de los países vitivinicultor más importantes junto a Francia o Italia. Sin embargo, estos últimos años este es un sector en crisis debido a la expansión que este mercado está sufriendo.

España era, en 2005, el tercer país en producción de vino, detrás de Italia y Francia con un total de 36.150 mil hectolitros (MARM, 2005). Ahora está experimentando una reducción de superficie de viña de alrededor de un 5% debido a las ayudas europeas que dan por el arranque de la viña. Aún así, en España este es el tercer cultivo por superficie, tan solo detrás del cereal y el olivo.

En cuanto a variedades, las tintas superan con creces a las blancas. La variedad más común es el Tempranillo, cultivado en todas las comunidades. La mayoría de la superficie

plantada con vid son variedades autóctonas, mientras que las foráneas ocupan una superficie mínima. El 96% de la producción de uva es destinada a la vinificación. Tan solo el 3% se destina a su consumo en fresco y el resto, 1%, para pasificación y viveros (AVIMES, 2004).

Aproximadamente tres cuartas partes de viña se encuentran en secano (unas 740.498 Ha) mientras que el resto se riega (AVIMES, 2004). La mayoría de las parcelas regadas se hacen mediante riego localizado seguido por la aspersión y gravedad. En el Cuadro que viene a continuación se muestra la superficie de vid de secano y regadío de las diferentes comunidades autónomas.

Cuadro Nº1: Superficie de viña por comunidades autónomas.

Superficie (Ha)	Secano.	Regadío.	Total
La Mancha	327.615	215.329	542.944
Extremadura	68.128	18.949	87.078
C. Valenciana	57.362	18.787	76.150
Castilla Leon	50.248	17.347	67.595
Cataluña	51.420	7.708	59.129
La Rioja	28.904	20.261	49.165
Aragón	33.174	10.497	43.671
Murcia	28.139	6.503	34.642
Andalucía	27.791	2.281	30.071
Galicia	25.997	650	26.647
Navarra	11.319	12.249	23.567
Pais vasco	11.437	1.475	12.912
Madrid	11.602	985	12.587
Canarias	5.993	2.496	8.488
I. Baleares	1.346	1.520	2.866
<b>TOTAL</b>	<b>740.475</b>	<b>337.036</b>	<b>1.077.512</b>

Fuente: MARM, 2009.

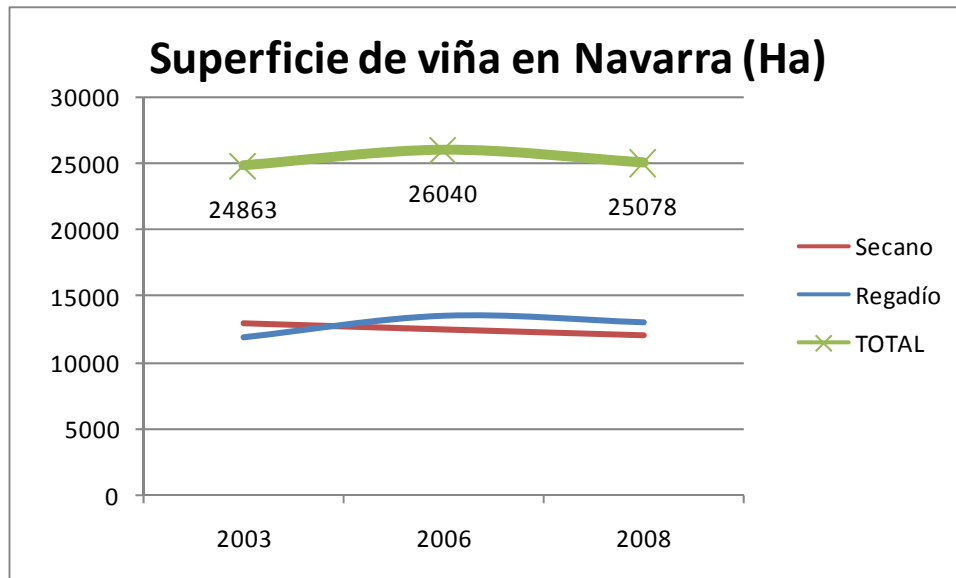
Alrededor de la mitad de la superficie del viñedo en España se ubica en Castilla la Mancha. Navarra ocupa el decimoprimer lugar en cuanto a superficie. Sin embargo es el que mayor proporción de viña de regadío tiene, más del 50%.

### 1.1.3.- La vid en Navarra

El cultivo de la vid en Navarra, aunque lejos de desaparecer, está sufriendo un pequeño retroceso. Al igual que en España, esto se debe a la crisis que el mundo del vino atraviesa y a las ayudas que se reciben desde Europa por arrancar las viñas.

En la figura Nº 3 se muestra que la superficie plantada ha disminuido desde 2003. Lo que ha disminuido en mayor proporción ha sido la superficie de viña de secano. El de regadío se ha mantenido más o menos, por lo que en la proporción de viña de secano y regadío, esta última ha crecido.

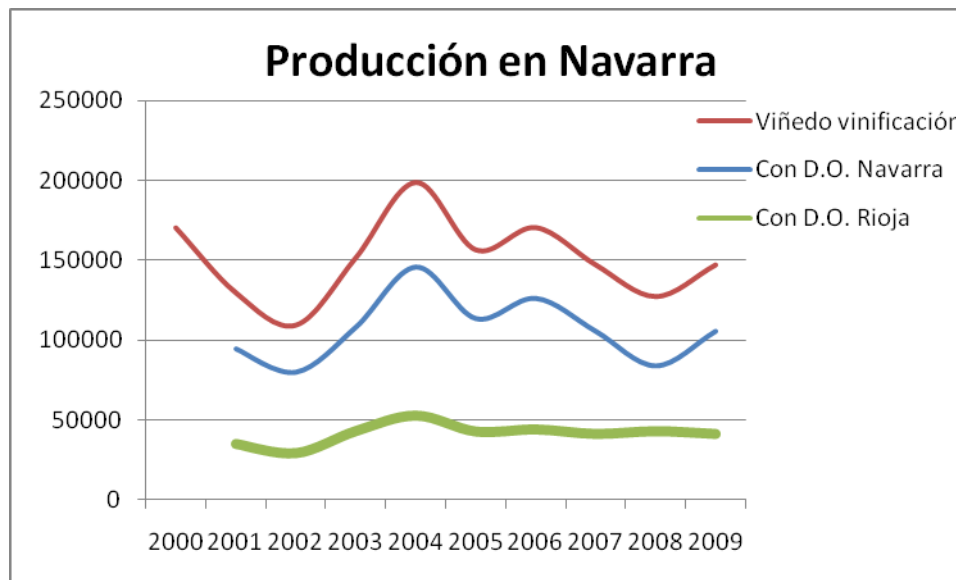
Figura Nº 3: Superficie de viña en Navarra.



Fuente: Departamento de Desarrollo Rural y Medio Ambiente del Gobierno de Navarra.

En consecuencia con la reducción de superficie, también se ha reducido la producción de uva en Navarra (véase la figura Nº 4). Esta reducción de producción es mucho más notable en las viñas dentro de la Denominación de Origen de Navarra que en las de La Rioja.

Figura Nº 4: Producción de uva en Navarra.



Fuente: Departamento de Desarrollo Rural y Medio Ambiente del Gobierno de Navarra.

## 1.2.- Botánica

La vid es una liana, sarmentosa y trepadora, que se fija a tutores naturales o artificiales, mediante órganos de que va provista. Cuando estos tutores faltan y no se la contraría en su manera de ser, se extiende sobre la superficie del terreno, en posición más o menos erguida, ocupando extensiones de consideración (Hidalgo, 2002).

Es una planta angiosperma, de la clase de las dicotiledóneas, de la subclase con flores más simples (Choripetalae), pero es el grupo dotado de cáliz y corola (Dyalypatalae), es decir, el más avanzado (Hidalgo, 2002).

Ciertos indicios (presencia de polen, de semillas y de hojas fosilizadas) permiten decir que la vid existía en la era terciaria en Asia menor, Europa oriental y en América. A lo largo del cuaternario, ciertas especies han sobrevivido a las agresiones sucesivas de las glaciaciones en refugios preservados por el frío. Se encuentran *Vitis silvestris* o lambruscas, de *Vitis vinifera*, en la flora espontánea en Transcaucasia, en Grecia, en Italia, en Francia, en Alemania y en España en el curso del cuaternario (Reynier, 2002).

Estas son las especies más importantes (Hidalgo, 2002):

- *Vitis rotundifolia*: se cultiva en Estados Unidos. Es una planta muy resistente a los parásitos y al frío.
- *Vitis labrusca*: es poco tolerante a la filoxera, aunque resiste bien los ataques de hongos como mildiu u oídio. Es resistente a la podredumbre gris, lo que la hace apto para climas tropicales. Está muy difundida con sus variedades *Concorde Isabella* para uva de mesa y vino. La *Concord* es cultivada en los estados de New York y Michigan de los Estados Unidos, en Brasil y Ecuador. La *Isabella* se cultiva en Brasil, Colombia y Perú, como Frutilla en Uruguay, como Uva Chinche en Argentina, como Uva Frágola en Italia, Austria, Yugoslavia y Rumania; como Gros Framboise en Suiza, como Bangalore Blue en India, y con diversas sinonimias en Zaire, Madagascar, La Reunión, etc.
- *Vitis berlandieri*: buena resistencia frente a la filoxera y a la caliza. Estas cualidades hacen que sea una especie muy utilizada para patrones.
- *Vitis riparia*: buena tolerancia a la filoxera y resistente al mildiu y al oídio sin embargo es poco resistente la caliza y a la sequía. Produce racimos pequeños de bayas pequeñas negras. Las variedades más utilizadas son: Gloria de Montpellier, Grand Glabre, Bronceada y Tomentosa; empleados en la obtención de híbridos productores. Es también una especie fundamental para portainjertos.
- *Vitis rupestris*: tolerante a la filoxera. Es resistente al mildiu, oídio y podredumbre negra aunque tiene una resistencia escasa a la caliza. Soporta bien la sequía. Fructifica en racimos pequeños, de bayas pequeñas, azul-negras. Las variedades más utilizadas son: Rupestris de Lot, R. Martín, R. Gaillard o de Hoja de Chopo y R. Giraud o Metálica. Hay quien

considera al Rupestris de Lot como híbrido de *V. monticola* y *V. rupestris*. Es empleado para la producción de híbridos productores directos y es especie fundamental en la de portainjertos.

- *Vitis vinifera silvestris*: antecesora de *Vitis vinifera sativa*. Funcionalmente son dioicas, con flores masculinas que carecen de gineceo, y que se agrupan en racimos bien desarrollados, mientras que las flores femeninas conservan estambres reflejos no funcionales, originando inflorescencias de tamaño reducido. Produce bayas de color tinto, aunque es posible encontrarlas blancas. Las pepitas son globosas y chatas. Resistencia variable a la erinosis, mildiu y oidium; según vides, se han encontrado ataques de mosquito verde (*Empoasca* sp.), araña amarilla (*Tetranychus urticae*), insecto predator (*Chrysoperla carnea*). Su resistencia a la filoxera se debe a que se desarrollan en suelos que presentan un elevado grado de humedad en su perfil, y que sufren, incluso, encharcamientos en determinadas épocas del año.

## 1.3.- Morfología de la vid

### 1.3.1.- Parte radicular

Examinando el extremo de una raicilla, se observa en la punta una especie de dedal de tejidos duros, llamada cófia o piloriza que la permite alargarse y penetrar en el suelo sin daño para la zona meristemática blanda y delicada situada en su interior, que produce este crecimiento. A poca distancia de esta punta hay una región provista de los llamados pelos absorbentes, por los que penetra el agua con las diversas sales alimenticias que se encuentran en el suelo. A medida que se alarga la raicilla, esta región se desplaza, conservando su distancia prácticamente fija a la punta. Nuevos pelos nacen cerca de ésta, y los más alejados mueren y caen. El resto de las raicillas sin pelos y de las raíces más o menos gruesas, no absorben nada, tienen otras funciones como la de sostener la planta (Hidalgo, 2002).

El crecimiento de la raíz tiene lugar: en longitud, por el meristemo terminal de su extremo inferior, protegido por la cofia o piloriza; y en diámetro, por la creación de capas de corcho y corteza de la zona generatriz externa, y más todavía por la formación de capas de líber y madera originadas por el cambium. Las plantas procedentes de semilla tienen una raíz principal pivotante mientras es joven, pero en el transcurso del tiempo, la raíz principal se atrofia dando lugar a las raíces adventicias. En las plantas procedentes de estacas, por multiplicación asexual o vegetativa, las raíces que se forman pueden considerarse todas primarias, de las que parten las secundarias, constituyendo todo la cabellera radical. Si no hay obstáculos en el terreno las raíces tienden a profundizar en el mismo (geotropismo positivo), pero también se desplazan hacia aquellas zonas del suelo más ricas en humedad y en nutrientes (quimiotropismo) (Hidalgo, 2002).

Además, las raíces respiran; esto es, absorben oxígeno del aire o disuelto en el agua que circula entre la tierra, y exhalan CO<sub>2</sub>, contribuyendo, con esa combustión, a proporcionar a

la planta la energía necesaria. Las raíces de la cabellera absorben por sus pelos el agua y sustancias minerales contenidas en la tierra, dando lugar a la savia bruta. El mecanismo de absorción responde por una parte a fenómenos de osmosis, consecuencia de que el medio del pelo absorbente está generalmente más concentrado que el medio exterior (Hidalgo, 2002).

### **1.3.2.- Parte aérea**

#### **1.3.2.1.- TRONCOS Y BRAZOS**

En la parte aérea de la vid distinguimos el tronco, brazos, pulgares o varas (trozos de ramos formados el año anterior), y los pámpanos o ramos herbáceos del año, que por su agostamiento en el otoño se convierten a su vez en sarmientos, con sus hojas, zarcillos y racimos.

Las funciones de los brazos y tronco son, aparte de la de respirar, las de soportar los sarmientos, los pámpanos con sus yemas, hojas, racimos y zarcillos, y servir, con su sistema de vasos para conducir savia bruta a los órganos verdes, y una vez transformada en savia elaborada, nutrir toda la planta. De la misma manera que en la raíz, el ascenso de savia bruta se verifica por los vasos de madera, y el descenso de la elaborada por los cribosos del líber. La forma y longitud del tronco y de los brazos depende del tipo de conducción que se adopte, pudiendo alcanzar desarrollos considerables en los parrales (Hidalgo, 2002).

#### **1.3.2.2.- PÁMPANOS Y SARMIENTOS**

En la vid, los brotes se llaman pámpanos. Estos engruesan en regiones en las que se insertan hojas, yemas, zarcillos y, en su caso, racimillos de flor, que más tarde se convertirán en racimos de fruto (uva). A este engrosamiento se le denomina nudo y las porciones comprendidas entre dos de estos nudos se llaman entrenudos.

En la base, cerca de la inserción o nacimiento de un pámpano principal (nacido de un trozo de sarmiento del año anterior) los entrenudos son cortos, haciéndose cada vez más largos a medida que se separan de aquella región de nacimiento, hasta llegar a una zona, que suele coincidir con la mitad del desarrollo final alcanzado por el pámpano, a partir del cual vuelven a acortarse hacia la punta. Los pámpanos que nacen en el mismo año sobre otro pámpano, se llaman nietos, tienen los entrenudos largos desde su base, acortándose hacia su punta o extremo. Los que nacen de yemas dormidas sobre madera vieja (brazos y tronco), llamados chupones, tienen también los entrenudos largos desde su inserción, y su longitud decrece, igualmente, hacia la extremidad. La yema apical suele secarse con el agostamiento, posteriormente se cae por lo que la longitud de un pámpano o sarmiento se determina el primer año.

En el nudo se insertan las hojas, las yemas u ojos, los racimos y los zarcillos, cuando los hay, del modo siguiente: Las hojas se insertan en los nudos por sus peciolos, alternativamente opuestas (divergencia de 180°). Los zarcillos, nacen también en el nudo, pero en el lugar opuesto a la inserción de las hojas (Hidalgo, 2002).

### 1.3.2.3.- HOJAS

Están compuestas por un peciolo y un ensanchamiento en lámina, llamado limbo, surcado por nerviaduras de diferentes órdenes. El limbo es la parte más importante de la hoja. Su aspecto es laminar pentalobulado, con cinco nervios principales, cinco senos y cinco lóbulos dentados. Las hojas pueden tener varias formas.

Haciendo un corte transversal del limbo se distingue: la epidermis superior del haz, cutinizada y con pocos estomas; la epidermis inferior del envés, menos cutinizada y con muchos estomas, y entre ambas epidermis el mesófilo.

El mesófilo constituido por células muy ricas en clorofila, tiene junto a la epidermis del haz un conjunto de células prismáticas, denominado parénquima en empalizada y junto a la epidermis del envés, el parénquima lagunoso, formado por células irregulares con grandes espacios llenos de aire provenientes del exterior. Los estomas están constituidos por dos células arriñonadas que se unen por sus extremos dejando en el centro un orificio denominado ostiolo, que adopta una mayor o menor abertura. Cuando la hoja tiene abundante agua las células estomáticas se dilatan y el ostiolo aumenta su abertura, pero por el contrario si en la planta falta agua las células estomáticas se contraen y el ostiolo disminuye su abertura e incluso se cierra en casos extremos. La apertura de los ostiolos permite la salida y evaporación del agua por transpiración, mientras que su cierre evita la desecación de la planta.

En el mecanismo de apertura y cierre del ostiolo interviene también la luz y la temperatura, pues las células estomáticas tienen clorofila y consecuentemente hay fenómenos de turgescencia y plasmolisis, abriéndolos o cerrándolos según las circunstancias. Los estomas permanecen más o menos abiertos en presencia de la luz y se cierran en la oscuridad. La estructura del peciolo es de una gran simplicidad: una epidermis con pocos estomas, y un parénquima interno que ocupa todo su espesor, conteniendo, en forma de media luna, los haces vasculares. Estos haces son los que se continúan en las nerviaciones del limbo.

Las funciones de las hojas son de una gran complejidad, pues en ellas los elementos minerales absorbidos por el sistema radicular, constituyendo la savia bruta, se transforma en savia elaborada que nutrirá a todos los órganos de la planta, a través de los vasos. La hoja tiene como funciones la fotosíntesis, la respiración y la transpiración:

- La fotosíntesis: es la elaboración de nutrientes a partir de elementos inorgánicos simples ( $\text{CO}_2$  y agua) utilizando para ello la energía proveniente de la luz. Esta energía es captada por pigmentos verdes que se encuentran en las células de las hojas, los cloroplastos, los cuales contienen clorofila, que es la encargada de combinar el  $\text{CO}_2$  extraído del aire y el agua proveniente del suelo absorbida por las raíces, desprendiendo oxígeno. De esta manera, y de dicha combinación, surgen los hidratos de carbono.

- La respiración: la respiración es el proceso de liberar energía, la cual es aprovechada por la planta para movilizar los demás cambios químicos que se producen en ella, además de la fotosíntesis. Partiendo de esta premisa, el azúcar es transformado en sustancias más simples. La respiración actúa inversamente en relación a la fotosíntesis: en esta última la energía es almacenada, en tanto que la respiración es liberada; el oxígeno reacciona con el hidrógeno y el carbono del azúcar formando agua y  $\text{CO}_2$ , con desprendimiento de energía. Esta energía es utilizada por la cepa para el crecimiento, la reproducción, la formación de frutos, la absorción de nutrientes, la constitución de diversas sustancias químicas, tales como los ácidos tartárico, málico, taninos, etc.
- La transpiración: es la función mediante la cual la planta elimina en forma de vapor el exceso de agua absorbida por las raíces. Se lleva a cabo fundamentalmente por las hojas, a través de los estomas, pero también las flores y los tallos verdes pueden desempeñar dicha función. Como los nutrientes que absorben las raíces lo tienen que ser en soluciones muy diluidas, para que pueda realizarse por los pelos radicales, el exceso de agua que no necesita es eliminado por la transpiración. La transpiración se incrementa por la sequedad del aire, la luz, el calor y los vientos, disminuyendo con la humedad ambiente y las temperaturas menos favorables (Hidalgo 2002).

#### 1.3.2.4.- ZARCILLOS E INFLORESCENCIAS

El origen de los zarcillos es el mismo que el de las inflorescencias, pudiéndose considerar una inflorescencia estéril. Los zarcillos ocupan la misma posición de aquéllas, en un nudo del pámpano y en el lado opuesto a la hoja, y bastante frecuentemente tienen varios botones florales. La extremidad de los zarcillos libres se curva formando una especie de espiral sobre sí mismo. En tanto que el zarcillo no se enrosca permanece verde, pero al hacerlo se lignifica intensamente, dando sujeción al pámpano (Hidalgo, 2002)

#### 1.3.2.5.- YEMAS

Todas las yemas de la vid están constituidas externamente por varias escamas, de color pardo más o menos acentuado, recubiertas interiormente por abundante borra blanquecina (lanosidad), las cuales protegen los conos vegetativos con su meristemo terminal que asegura el crecimiento del pámpano y que no son otra cosa sino brotes en miniatura, con todos sus órganos. Las yemas latentes de la vid son raramente simples. En gran número de casos, en una misma yema se encuentran varios conos vegetativos. El más importante contiene, entre sus escamas, uno o dos conos vegetativos secundarios; a su vez, entre las



escamas de estos conos secundarios pueden insertarse otro u otros terciarios, etc. Una yema, pues, puede contener uno, dos, tres..., varios conos vegetativos, que representan otros tantos brotes, con todos sus órganos en miniatura. La organización de estos conos es tanto más simple cuanto que su rango es más elevado, y así, un cono vegetativo de primer orden contiene de ordinario dos racimillos de flor; uno de segundo orden tiene corrientemente uno; los terciarios no tienen ninguno. En el mismo nudo de un sarmiento pueden, por tanto, insertarse, en primavera, varios brotes o pámpanos originados por el desarrollo simultáneo de los citados conos vegetativos, que generalmente se estorban en el transcurso de la vegetación. Es un hecho raro, pero se da en algunas variedades como el Albariño (Hidalgo, 2002).

Las yemas, generalmente, brotan el siguiente año a su formación. Sin embargo, hay casos en los que las yemas denominadas prontas brotan el mismo año en el que se han desarrollado. A estos brotes se les suele llamar nietos. Son infértiles aunque pueden dar pequeñas inflorescencias llamadas racimas. Estas suelen tener pocas bayas, están poco ramificadas y sufren un claro retraso con respecto a las inflorescencias formadas el año anterior.

En la base del sarmiento, en su inserción en la madera vieja, suelen encontrarse las yemas ciegas. Estas en ocasiones pueden tener racimillos de flor.

#### 1.3.2.6.- RACIMOS Y BAYAS

Cumplida la fecundación, aparece como resultado el grano de uva o baya, que engorda rápidamente, y que está constituido por una película exterior, hollejo; una pulpa, que rellena casi todo el grano y las pepitas. Hasta bien avanzada la vegetación el grano es verde, tiene clorofila; es decir, elabora, al menos, parte de la savia que lo nutre, si bien es importante insistir en que la mayor cantidad la recibe de las hojas. El hollejo o película exterior corresponde al epicarpio del fruto, y es frecuente que sobre el mismo se encuentre una capa cérica denominada pruina. La pulpa corresponde al mesocarpio del fruto, formado de células de gran tamaño, ricas en mosto, que rellena toda la uva. Las pepitas se encuentran dentro de la pulpa y sin distinguirse de ella se sitúa el endocarpio del fruto, que contiene las pepitas o semillas en las variedades pirenas. Proviene de los óvulos fecundados, por lo que hay un máximo de cuatro. El pincel es la prolongación de los vasos conductores del cabillo o pedicelo a través de los cuales se nutre la baya.

Como cifras medias se puede decir que esta la composición de la baya (Hidalgo,2002):

-	Raspón	5%
-	Hollejo	7%
-	Pulpa	84%
-	Pepitas	4%

## 1.4.- Ciclo vegetativo

En climas mediterráneos como el nuestro, cada cepa sufre cada año varias fases diferentes. Tienen un orden constante y todas ellas forman un ciclo. Aunque en climas como los nuestros cada año se dé un solo ciclo, en algunos climas tropicales se pueden dar hasta dos ciclos anuales.

### 1.4.1.- Lloro

Antes de la entrada en vegetación, se observa, al final del invierno, una exudación a nivel de las heridas de poda, que comienza por un simple rezumo para hacerse más intenso y detenerse. La duración de los lloros es generalmente de varios días, pero alcanza hasta tres o cuatro semanas (Reynier, 2002). El fenómeno depende esencialmente del portainjerto, o variedad de *Vitis vinifera* si la plantación es franca de pie, y de las temperaturas del suelo, comenzando aproximadamente cuando ésta se eleva sobre los 10° C, aun cuando este límite cambie con la variedad. La rapidez del fenómeno depende de las variaciones de las temperaturas del suelo, condiciones de humedad del mismo, y vigor de la planta (Hidalgo, 2002).

La composición de la savia del lloro es diferente a la savia bruta, la primera es mucho más pobre en sólidos solubles. No es una fase en la que la planta se debilite, aun siendo abundante. Sin embargo, puede traer problemas por aumentar la sensibilidad a las heladas primaverales o por dificultar la soldadura en el caso del injerto (Reynier, 2002).

### 1.4.2.- Brotación o desborre

Cuando en primavera las yemas comienzan a hincharse, las escamas protectoras que las recubren se abren y la borra que se ve al principio aparece al exterior; por ello recibe el nombre de desborre esta primera manifestación del crecimiento. La fecha y la velocidad del desborre depende de factores climáticos, la variedad, vigor, posición de la yema y de diferentes prácticas culturales. La temperatura es uno de los factores más influyentes en el desborre. Cuanto más calor, o invierno más suave, antes se activa el proceso de brotación ya que depende de las horas de calor acumuladas. Algunas variedades tienden a tener unas fechas más tempranas que otras para comenzar la actividad biológica en las yemas. Las prácticas culturales también juegan un papel importante en este proceso: una poda tardía retrasa el desborre, o una formación más baja la adelanta por influir en la temperatura al que se sitúan las yemas (Reynier, 2002).

### 1.4.3.- Crecimiento

El crecimiento de un pámpano procedente de una yema latente comprende tres fases:

- al principio, un período de aceleración lenta del crecimiento a lo largo del cual las variaciones diarias son todavía débiles.
- a continuación, un período de crecimiento diario rápido con una parada momentánea en la floración.

- por último, un período de crecimiento ralentizado que termina en la parada de crecimiento o incluso una disminución de la sección.

El crecimiento de las hojas, zarcillos y ramos anticipados (nietos) se realiza al mismo tiempo que el de los entrenudos subyacentes. El crecimiento de los ramos anticipados nacidos de las yemas prontas no empieza hasta que existe una cierta distancia al ápice del pámpano. Su longitud depende de la situación de la yema pronta en el pámpano, o del vigor. Las yemas prontas que se encuentren en la zona media del pámpano son las que probablemente den los anticipados más largos. Un vigor fuerte provoca más anticipados, más largos, que crecen más rápidamente y de mayor diámetro. El despunte provoca la brotación de más yemas prontas por la eliminación de la yema apical, y por tanto, la desaparición de la dominancia apical.

La vid tiene un crecimiento acrótono, es decir, las yemas que brotan primero inhiben las de más abajo, provocando un crecimiento desigual. Los pámpanos situados más arriba crecen más que los situados debajo. La alimentación hídrica y mineral es indispensable para las diferentes funciones de los órganos de la cepa. Además, es necesario que el órgano en crecimiento encuentre a su alcance azúcares en cantidad suficiente para satisfacer las intensas necesidades de la respiración y de la biosíntesis. Estos azúcares son suministrados bien por la fotosíntesis local, es decir, a nivel del órgano (caso de las hojas y bayas jóvenes), bien por la fotosíntesis de hojas adultas que producen más de lo que consumen para satisfacer sus propias necesidades, o bien, por la movilización de reservas almacenadas en las partes vivaces. Así, las migraciones de asimilados (azúcares, ácidos orgánicos, etc.) se efectúan entre los diferentes órganos de la planta por los vasos conductores.

En un pámpano en crecimiento se pueden distinguir tres zonas cuyas actividades metabólicas son diferentes. En el ápice, los órganos son aún inmaduros, están en crecimiento y demandan más fotoasimilados de los que producen, es decir, son sumideros. En la zona media, los órganos son maduros y se produce más fotoasimilados de los que demandan. Esta zona es exportadora. En la zona basal es donde se encuentran los órganos más viejos. Estos han ralentizado su actividad. Sin embargo pueden ser cruciales en algunos casos como un despunte muy severo (Reynier, 2002).

#### **1.4.4.- Agostamiento**

Después del cese de crecimiento, la estructura anatómica del pámpano se modifica. Los tejidos vivos perfeccionan su estructura y se enriquecen en materias de reserva, de las que un representante típico es el almidón. Como consecuencia de este enriquecimiento de reservas el pámpano, que ya pierde la clorofila, modifica su color, adquiere consistencia y se convierte en sarmiento (Hidalgo, 2002). De este agostamiento depende la resistencia a las heladas invernales y el vigor de los pámpanos en la primavera siguiente. El agostamiento asegura, pues, la perennidad de la planta. Todo aquello que contribuye a la destrucción prematura del follaje (heladas precoces, enfermedades criptogámicas, deshojado excesivo) compromete el agostamiento (Reynier, 2002).

### **1.4.5.- Caída de las hojas**

Cuando comienza a decrecer notablemente la temperatura hasta las proximidades del cero de vegetación se produce la caída de sus hojas; pero antes, los materiales alimenticios que contienen descienden se insolubilizan y se constituyen en reservas en los tejidos vivos de los sarmientos, brazos, tronco, cuello y raíces de la cepa. Las hojas amarillean o se tiñen de colores rojizos, se desecan y caen finalmente. La vid entra así en su fase de reposo invernal. Todas las cepas no pierden la hoja al mismo tiempo. Las vigorosas las conservan más que las débiles (Hidalgo, 2002).

## **1.5.- Ciclo reproductor**

El desarrollo de los órganos reproductores empieza con la iniciación de las inflorescencias en las yemas latentes el año precedente y la diferenciación de las flores en primavera; después se desarrollan sucesivamente la floración, el cuajado, el crecimiento y la maduración de las bayas del racimo (Reynier, 2002).

### **1.5.1.- Iniciación floral**

La fertilidad de las yemas depende del transcurso de la inducción floral y la iniciación floral. En el primer fenómeno, se determina qué meristemas formarán inflorescencias. Del segundo depende que la inflorescencia termine dando flores o se desarrolle un zarcillo.

La iniciación de las inflorescencias comienza el año anterior a la aparición de las inflorescencias, en las yemas de la base y progresando gradualmente hacia la extremidad. La iniciación de las flores comienza en la primavera siguiente, algunos días antes del desborre, formando las ramificaciones del racimo y prosigue hasta la floración diferenciando los órganos de los botones florales. La cantidad de racimos se que crecerán en primavera se puede estimar en invierno observando cortes transversales de yemas. La cantidad de flores también se puede estimar, pero algunos días antes de la floración, gracias a la buena correlación que existe entre longitud y número de flores (Reynier, 2002).

La fertilidad se de la yema se ve alterada por factores climáticos, biológicos y culturales.

La iluminación es el factor principal de la iniciación de las inflorescencias. La temperatura tiene una influencia cuantitativa en la iniciación de las inflorescencias, favoreciendo el metabolismo general de la cepa, el crecimiento de los pámpanos y la organogénesis de las yemas. En la primavera siguiente la acción de la temperatura juega un papel importante a lo largo de la diferenciación de los órganos florales; a baja temperatura, el número de flores es más elevado, pero el de las inflorescencias es más bajo que a temperatura elevada; por el contrario, cuando el desborre se retrasa, por una poda tardía, por ejemplo, se constata un aumento del número de inflorescencias (Reynier, 2002).

Los pámpanos más vigorosos producen más inflorescencias, excepto los demasiado vigorosos, que en este caso ven reducido su potencial reproductor. No todas las yemas tienen la misma fertilidad: las yemas principales de las yemas latentes son las más fértiles, las secundarias apenas lo son. Las yemas prontas pueden producir racimos, pero son pequeños y de escaso valor vinícola. Finalmente, las yemas de la madera o de la corona presentan una fertilidad muy baja. No todas las yemas de un pámpano son igual de fértiles; la formación de las yemas de la parte central del pámpano coincide con la época de máximo crecimiento. Es por esto por lo que son más fértiles que las yemas basales. Los abonados, poda, formación, carga, parcela etc. influyen también en la fertilidad (Reynier, 2002).

### **1.5.2.- Floración, polinización, fecundación y cuajado**

La floración corresponde a la apertura de la corola, que se deseca y cae. Se produce generalmente en junio, pero la fecha varía con la variedad y las condiciones climáticas del año. La floración se escalona entre diez y quince días. La caída del capuchón está favorecida por la insolación y el calor (mínimo 15 °C). A veces el capuchón no cae a causa de la lluvia o, de vigor insuficiente, las flores quedan encapuchadas. Después de la caída del capuchón, los estambres se separan del gineceo, y efectuando una rotación de 180° liberan el polen (Reynier, 2002). La fecundación de la vid es anemófila generalmente (Hidalgo, 2002).

La mayoría de las vides suelen ser hermafroditas, es decir, tienen la capacidad de producir gametos de ambos sexos. Sin embargo, la alogamia permite una mejor fecundación (Reynier, 2002). La temperatura media a la que empieza a cumplirse el fenómeno es de unos 15°C; pero, lógicamente, su rapidez y perfección se acentúan al aumentar la temperatura en los días en que tiene lugar. Una temperatura de alrededor de los 21°, con tiempo seco y ligero viento, es sumamente favorable; por el contrario, temperaturas inferiores a 15° ó 16°, acompañadas de lluvia, retardan el descapuchando (apertura normal y caída de la corola), provocan desigualdades en la maduración de polen y óvulos, lavan o diluyen el líquido azucarado de la entrada del estigma, haciendo que el polen germine mal o no lo haga (Hidalgo, 2002). Además de los factores externos, los internos pueden también afectar a la fecundación, como por ejemplo el vigor, calidad del gineceo, de los estambres, del polen etc. (Hidalgo, 2002).

El número de frutos maduros es siempre inferior al número de flores que están diferenciadas. Un cierto número de flores fecundadas evolucionan a frutos, se dice que cuajan, mientras que un cierto número de flores no polinizadas y de ovarios fecundados caen, se dice que se corren. La tasa de cuajado es un término que corresponde al número de bayas que quedan en el racimo en relación al número de flores de la inflorescencia. La tasa de cuajado es relativamente baja, incluso en ausencia de corrimiento. Es más elevado en variedades de racimos pequeños que en variedades con grandes inflorescencias. La tasa de cuajado de las inflorescencias de un mismo pámpano decrece desde la base hacia la extremidad (Reymier, 2002).

## 1.6.- Crecimiento y maduración de las bayas

El desarrollo de las bayas empieza con la polinización y continúa hasta el estado de madurez. Se traduce en un crecimiento en volumen de las bayas acompañado de una evolución de las características físicas (color, firmeza) y de la composición química de las uvas (azúcares, ácidos, compuestos fenólicos). Se distinguen generalmente tres períodos a lo largo del desarrollo del fruto (Reynier, 2002):

- Período herbáceo: la característica principal del período herbáceo, así denominado por la permanencia de la clorofila en la piel, es el considerable aumento del tamaño del fruto, fundamentalmente por multiplicación celular, consecuencia principal de la aportación de auxinas reguladoras del crecimiento, y en menor grado dependiente de las sustancias nutritivas que ellos mismos elaboran, o que suplementariamente las aportan las hojas. Un estrés hídrico en esta fase tiene como consecuencia una menor multiplicación celular y por tanto una reducción irreversible del tamaño de la baya.
- Envero: terminando el período herbáceo, se encuentra la situación del envero con la práctica parada temporal del crecimiento, pérdida progresiva de la clorofila y aparición simultánea de los pigmentos que llegarán a dar la coloración característica de la variedad (Hidalgo, 2002). Comienza un período de evolución rápida de las características físicas y bioquímicas de la uva que termina con la madurez (Reynier, 2002).
- Madurez: en esta fase la baya sufre un importante cambio en su composición, así como es sus cualidades físicas, químicas y organolépticas.

### 1.6.1.- Acumulación de azúcares

El envero corresponde a una acumulación brusca e importante de azúcares en las bayas. Está acompañada de una modificación del color de las uvas, se dice que enveran. Este enriquecimiento rápido es el resultado de una modificación del sentido de las migraciones. Por una parte, los productos de la fotosíntesis cesan temporalmente su circulación descendente hacia las partes vivaces y se dirigen únicamente hacia los racimos, todos los sarmientos participan en esta migración, los azúcares de los sarmientos no fructíferos (principalmente nietos) se dirigen hacia los sarmientos que tienen racimos. Por otra parte, las reservas en azúcares (sacarosa y principalmente almidón) de la madera y del sistema radicular son movilizadas repentinamente y en proporción más o menos importante en beneficio de los racimos; el nivel de estas reservas es importante para asegurar un buen comienzo de la maduración; cuando las reservas de las partes vivaces han disminuido a lo largo de ciclos vegetativos anteriores y la fotosíntesis actual es insuficiente para satisfacer las exigencias de volumen importante de los racimos, en ese caso podemos observar una maduración insuficiente; la historia del viñedo, la edad, el mantenimiento, el control permanente de los rendimientos y la buena actividad de las hojas, son otros factores que condicionan la evolución de la maduración (Reynier, 2002).

Los azúcares principales de la uva son la fructosa y la glucosa y su proporción varía según avanza el ciclo. Al principio predomina la glucosa hasta que en la maduración se igualan. En uvas sobremaduras la fructosa es el principal azúcar (Hidalgo, 2002).

### **1.6.2.- Disminución de la acidez**

Los ácidos principales de la uva son: tártrico, cítrico, ascórbico, málico y fosfórico, con muy pequeñas cantidades de otros pero los ácidos tártrico y málico constituyen más del 90 por 100 del total (Hidalgo, 2002). La sede de síntesis de los ácidos orgánicos son las hojas y las bayas verdes que están en crecimiento vegetativo. Los contenidos de ácidos disminuyen a lo largo de la maduración. Esta disminución de la acidez tiene diversas causas (Reynier, 2002):

- Degradación respiratoria: los ácidos orgánicos sirven de sustrato a la respiración. La degradación aumenta con la temperatura. Esta degradación afecta sobre todo al ácido tartárico y luego al málico.
- Transformación de ácido málico en azúcares: la síntesis de azúcar a partir de ácido málico, participa en la disminución de la acidez y en el enriquecimiento en azúcares. Parece que la producción de azúcares por esta vía es limitada.
- Fenómenos de dilución: durante la maduración la uva engorda por aporte de agua procedente de las raíces, lo que contribuye a disminuir la concentración en ácidos.

### **1.6.3.- Compuestos fenólicos**

Los compuestos fenólicos son sustancias orgánicas cuya estructura química comprende una o varias funciones «fenol». Los compuestos fenólicos participan en la coloración de la uva y en las propiedades visuales y gustativas del vino. Se distinguen:

- Ácidos fenólicos.
- Antocianos: principales constituyentes de los pigmentos rojos.
- Flavonoides: principales constituyentes de los pigmentos amarillos.
- Taninos: constituyentes del color, de la estructura y de la astringencia de los vinos.

En el momento del envero, las bayas verdes pierden la clorofila y evolucionan a rojas o amarillas. Esta evolución que prosigue durante la maduración permite distinguir las variedades tintas de las blancas. Esta coloración debida a la materia colorante, antocianos (rojos) y flavonoides (amarillos) no afecta más que al hollejo; sin embargo, la pulpa de algunas variedades, llamadas tintoreras, acumulan antocianos. Al mismo tiempo, otras sustancias orgánicas, los taninos, sufren unas modificaciones cuantitativas y cualitativas en los hollejos y

pepitas. Tras la vinificación, los compuestos fenólicos se encuentran en el vino y participan en sus características organolépticas.

Un racimo maduro es rico en antocianos y taninos fácilmente extraíbles, mientras que la extracción de los taninos de las pepitas es relativamente moderada. Los compuestos fenólicos participan de manera importante en la calidad visual y organoléptica de los vinos (cuerpo, armazón, estructura, espeso y carnoso) y también en sus defectos (amargor, dureza, falta de cuerpo). Las características de los vinos tintos dependen de la naturaleza, estructura y concentración de compuestos fenólicos del racimo en el momento de la cosecha y de su evolución a lo largo de la vinificación y de la crianza del vino.

Los constituyentes más importantes son los antocianos (color) y los taninos (astringencia). Su evolución durante la maduración es uno de los factores determinantes de la calidad de las uvas:

- En los hollejos, los antocianos aparecen en el envero, y su concentración aumenta más o menos regularmente para ralentizarse en la proximidad de la madurez; el hollejo contiene también ácidos fenólicos, taninos y un poco de flavonoles; el aumento del contenido de taninos (procianidinas) está ligado al de los antocianos y a los azúcares, una variedad tinta, rica en azúcares está bien provista, generalmente, de antocianos y taninos.
- En la pulpa se encuentran los ácidos fenólicos, algunos taninos y, excepcionalmente, antocianos (variedades tintoreras);
- En las pepitas, la concentración en taninos extraíbles disminuye a lo largo de la maduración o a veces durante el envero; las pepitas también contienen ácidos fenólicos; los taninos de las pepitas son distintos a los de los hollejos y dan astringencia y amargor.
- En los raspones aumenta la concentración de taninos débilmente y también su amargor.

## 1.7.- El agua en la planta

En plantas leñosas el agua constituye alrededor de un 50%. Del agua total contenida en las plantas, entre un 60-90% se encuentra situada en el interior de las células (agua simplástica) mientras que el resto (10- 40% del total) está en las paredes celulares. El agua en las paredes celulares forma un continuo con células especializadas en el transporte de agua a lo largo de la planta (agua apoplástica). El volumen total de agua en una planta es muy pequeño en relación al volumen total de agua transpirada a lo largo de su ciclo vital; de toda el agua absorbida por una planta a lo largo de su ciclo vital, aproximadamente un 95% se pierde por transpiración y sólo el 5% se usa en metabolismo o crecimiento (Kramer, 1983). Incluso a nivel diario, el volumen de agua dentro de la planta es a menudo insuficiente para compensar el déficit en las necesidades de agua transpirada que ocurren en un día cálido y soleado. Las grandes cantidades de agua transpiradas por la planta en relación a la contenida en los tejidos



puede considerarse como el coste que la planta tiene que pagar por abrir los estomas para permitir la entrada de  $\text{CO}_2$  para la fotosíntesis.

### **1.7.1.- Funciones**

Una de las funciones básicas del agua contenida en las células es el mantenimiento de la turgencia celular y de los tejidos el cual es esencial para el alargamiento celular y por tanto para mantener tasas óptimas de crecimiento. Otras funciones primarias son el transporte de solutos dentro de la planta y la participación en actividades metabólicas. El agua actúa como disolvente de muchos minerales y solutos orgánicos permitiendo su transporte dentro de la célula y en la planta. El agua está directamente implicada en reacciones químicas que ocurren en las células como la reducción del  $\text{CO}_2$  en la fotosíntesis. Otra función es el enfriamiento de la planta que ocurre durante el proceso de evaporación desde la superficie de las hojas, evitando el calentamiento diurno debido a la recepción de la radiación solar (Fernández, 2003).

### **1.7.2.- Absorción**

El agua en las plantas puede ser absorbida por las hojas o por las raíces.

En el caso de que lo haga por la hoja, el agua penetra por los estomas, o también puede infiltrarse a través de la cutícula epidérmica. La humedad atmosférica, los rocíos y las nieblas pueden contribuir a la alimentación de las plantas con agua. La cantidad de agua así absorbida es siempre pequeña, pero desde el punto de vista práctico, la posibilidad de esta absorción presenta un gran interés pues permite la aplicación de los "abonos foliares".

En el caso de las raíces, el agua se absorbe en especial por los pelos absorbentes de las raíces jóvenes. Estos son células gigantes que pueden alcanzar muchos milímetros. Una gran vacuola ocupa casi la totalidad de la célula del pelo. Los pelos absorbentes tienen una existencia efímera pero se forman constantemente.

Las plantas pueden utilizar el agua libre y el agua de capilaridad del suelo. Esta última constituye la fuente de agua esencial en períodos de sequía. Mientras las fuerzas de cohesión que unen a las moléculas de agua no se rompen, las raíces pueden atraer una corriente continua, y utilizar así el agua situada a una distancia bastante grande.

La entrada de agua en el pelo absorbente puede explicarse por el fenómeno de osmosis. La presión osmótica de los pelos absorbentes es tal que les permite absorber el agua del suelo. Esta absorción proseguiría sin interrupción sólo si existiese una corriente de agua continua en la planta. De todas maneras la cantidad de agua que una célula determinada es capaz de absorber no puede sobrepasar un cierto valor. La penetración del agua se ve limitada por la resistencia que opone la membrana esquelética.

Debido a la transpiración, los pelos absorbentes en la planta nunca son completamente turgentes, sino que existe una atracción y se absorbe el agua del suelo. La succión presenta variaciones diarias importantes.

La aireación del medio edáfico es indispensable para la absorción del agua y de las sales minerales.

La temperatura del suelo también tiene gran importancia. Existe una temperatura óptima fuera de la cual la intensidad de absorción disminuye. Esto significa que la actividad metabólica de las raíces se ve inhibida cuando la temperatura es demasiado baja, y que se reanuda de inmediato desde que la temperatura comienza a subir.

También la concentración de solutos en el suelo interviene. Cuando la presión osmótica del suelo se eleva de un determinado valor, la absorción disminuye y puede llegar a ser nula, excepto para algunas plantas, las halófitas, especialmente adaptadas a suelos salinos (Ribéreau-Gayon et al., 1971).

### **1.7.3.- Transporte**

El agua que absorben los pelos absorbentes llega hasta los vasos de la raíz (transporte horizontal) y luego sube hasta las hojas (transporte vertical).

La savia bruta que llega de la raíz a los vasos debe poder elevarse hasta la cumbre de los tallos. Los vasos pueden verse asimilados a tubos capilares. El cálculo muestra que las fuerzas capilares solas no podrían hacer subir el agua a más de un metro de altura. Por lo tanto se sabe que interviene otro mecanismo: la cohesión del agua, es decir la afinidad de las moléculas de agua entre sí. Los mismos vasos tienen a su vez un papel, pues pueden dilatarse o comprimirse según la cantidad de agua que reciban (el diámetro del tronco varía; se lo mide con un dendrómetro). Así, la corriente de agua permanece continua y se ve facilitada evidentemente por la forma de los vasos, que se alargan siguiendo el eje del órgano.

## **1.8.- Efecto del régimen hídrico en la vid**

La mayoría de los cultivos son muy sensibles al régimen hídrico, pudiendo tener graves daños con pequeñas variaciones del régimen (Jones et al., 2002). En la viticultura, del régimen hídrico de la viña dependerá, en gran parte, la calidad del mosto, y en consecuencia la calidad del vino final.

Con diferentes grados de estrés hídrico se han conseguido diferentes efectos en la cosecha, crecimiento de la cepa, tamaño de la baya, composición y en las cualidades paramétricas del vino tinto y rosado (Salon, 2005).

No todas las variedades presentan las mismas necesidades hídricas ni tienen la misma capacidad de adaptación y respuesta a diferentes niveles de sequía. Los efectos hídricos varían según la época de riego y la cantidad de este, además, cobra gran importancia el efecto positivo del estrés hídrico en determinados momentos del ciclo.

En general, con el estrés hídrico se reduce la transpiración porque las cepas desarrollan menos hojas y estas guardan mejor el agua (D.S. Intrigliolo et al., 2006). Sin embargo la

cantidad de fotosíntesis por unidad de área foliar es igual en viñas regadas que no regadas (H.G. Jones, 2004).

### **1.8.1.- Efectos sobre el desarrollo vegetativo**

El estrés hídrico se produce generalmente en verano, cuando las reservas de agua del suelo escasean y la planta no tiene todo el agua que pudiera gastar a su disposición. La aparición o no del estrés depende de muchos factores: suelo, profundidad de enraizamiento, material vegetal, temperatura, precipitaciones, riego, etc. El estrés hídrico trae consigo una reducción de vigor, siendo una herramienta útil en el control del desarrollo vegetativo.

El riego estimula el desarrollo vegetativo y el vigor de las cepas, aumentando el peso de madera exportada en la poda a medida que lo hace el volumen de agua aplicada. Es posible controlar este crecimiento, disminuyendo la disposición de agua en la época de máximo desarrollo o incluso provocando situación de estrés. Esto tendrá consecuencias positivas sobre la maduración, ya que si no se controlase el crecimiento tendríamos problemas de luz, enfermedades, mayor competencia entre brotes y frutos y la maduración sería más lenta.

### **1.8.2.- Efectos sobre el desarrollo reproductivo y la producción**

La cantidad de agua que una cepa tiene disponible durante el ciclo reproductor es uno de los mayores condicionantes de la producción que se obtendrá. El tamaño de la baya está muy ligado al régimen hídrico de la viña. Cuanto menos agua tenga a su disposición más pequeña será el tamaño de la baya (Baeza et al., 2007). En cuanto a la fertilidad, unos autores discrepan de los otros; Baeza et al., (2007) afirmaron que el régimen hídrico no afecta a la fertilidad, teniendo la misma cantidad de bayas por racimo y racimos por pámpano en vides regadas y no regadas. Concluyeron que esto se podía deber a que el agua acumulada en el suelo en invierno podía ser suficiente para la iniciación floral y diferenciación. Salon et al., (2005) obtuvieron resultados parecidos en viñas variedad Bobal, en Requena (Valencia). Esteban et al., (1999), a diferencia de los autores ahora citados, encontró diferencias en la cantidad de bayas por racimo entre vides con diferente régimen hídrico.

### **1.8.3.- Efectos sobre la calidad de la cosecha**

Son muchos los ensayos que se han realizado para observar el efecto del riego, o de la carencia de riego, en la calidad y cantidad de la cosecha. Se ha observado como el déficit de riego hace variar cada uno de los parámetros de la uva concluyendo que para obtener vinos de calidad es conveniente mantener un cierto grado de estrés en las viñas que evitar situaciones de falta de agua.

El grado de azúcar es un parámetro muy influenciado por el régimen hídrico. Los azúcares que se acumulan en las bayas provienen esencialmente de la actividad fotosintética (Ribéreau-Gayon et al., 1971). Sin embargo, la fotosíntesis es afectado moderadamente por el estrés hídrico, reduciéndose si el estrés aumenta (Hamlyng G. Jones, 2004). Por estas razones, cortar el riego a partir de envero reduce la cantidad total de azúcares ( $g_{\text{azúcar}} / \text{ha}$ ). También es sabido que si el estrés se produce antes del envero, la baya se queda mucho más pequeña que si se hubiera producido después. Con esta herramienta controlaremos el tamaño de la baya

pues es sabido que en las bayas pequeñas la concentración de azúcares es mayor (Salon et al., 2005). Es decir, con un estrés moderado obtendremos menos azúcar por unidad de superficie pero al tener menos bayas y más pequeñas cada baya tendrá una mayor concentración de sólidos solubles (Salon et al., 2005), produciendo vinos de mas grado alcohólico.

En el momento del envero la uva contiene importantes porcentajes de ácidos orgánicos: ácido tartárico, ácido málico, y en mucho menor cantidad ácido cítrico. La acidez del jugo de uva es entonces muy elevada. Desde el envero hasta la vendimia esta acidez disminuye rápidamente por dilución (debida al aumento de volumen de los granos), por desaparición de una parte de los ácidos (sobre todo por combustión respiratoria) y, por último, por neutralización parcial de las funciones ácidas (migración de bases hacia la uva), (Ribéreau-Gayon et al., 1971). Baeza et al., (2007) concluyó que el pH y la cantidad de ácido tartárico no está afectado directamente por el riego, sin embargo, el vigor de la planta sí que lo está y de esto depende el microclima que se crea alrededor de las bayas. Este microclima (afectado indirectamente por el régimen hídrico) es uno de los condicionantes de la degradación del ácido tartárico, y en consecuencia del pH. Esteban et al., (1999) y Salon et al., (2005) encontraron una relación negativa entre pH y cantidad de riego; otros autores como Reynols (2005), Stevens et al., (1995), Silviotti et al., (2005) o Walker et al., (2005) no encontraron ninguna relación entre régimen hídrico y pH.

Los polifenoles se ven afectados por la cantidad de agua disponible, viéndose afectados la estructura el color y la capacidad de envejecimiento del vino resultante. A mayor cantidad de agua, el vino tenderá a tener peor estructura, menos intensidad de color y peor capacidad de envejecimiento porque al haber menos antocianos está menos protegido contra la oxidación (Baeza et al., 2007). Salon (2005), de acuerdo con lo anterior, constató que los antocianos y los fenoles se encontraban en el hollejo de la uva y no en la pulpa. Al regar disminuye el ratio hollejo/pulpa reduciéndose la concentración de estos compuestos.

## **1.9.- Determinación del estrés hídrico en viñedo**

En el momento en el que una planta entra en estado de estrés hídrico empieza a haber cambios dentro de ella como la reducción de fotosíntesis, la reducción de crecimiento etc. El grado y el momento del estrés es muy importante a la hora de evaluar los efectos de la falta de agua. Con un buen uso del agua podremos controlar el grado y el momento en el que la planta se estresa y por tanto podremos moldear bien el producto final a nuestras necesidades. Sin embargo, es imprescindible conocer bien en cada momento en que situación hídrica se encuentra la planta para poder actuar correctamente. Para ello existen diferentes formas de medir la cantidad de agua disponible para la planta.

### **1.9.1.- Métodos de estimación**

Se realizan a partir de datos climáticos y coeficientes de cultivo.

### 1.9.1.1.- HUMEDAD DE SUELO

El potencial matricial es una medida de la fuerza con la que el suelo retiene el agua. Cuanto más agua haya en el suelo, más cerca estaremos de capacidad de campo y más agua habrá a disposición de la planta, o de la vid en este caso. El potencial matricial se mide generalmente en campo con tensiómetros que pueden ser manuales o eléctricos, o con sensores de resistencia eléctrica. El potencial se expresa con valores negativos ya que significa la fuerza con la que el agua es retenida en el suelo. De esta forma, los valores más negativos indican un suelo más seco.

Los tensiómetros son baratos, simples y fáciles de utilizar. Sin embargo requieren de una preparación y mantenimiento adecuado para proporcionar datos exactos y fiables. El tensiómetro tradicional consta de una cápsula cerámica porosa fijada a un tubo plástico transparente con el mismo diámetro exterior (normalmente aprox. 2.5 cm) con un depósito de agua en la parte superior del tubo y un vacuómetro también ajustado al extremo superior. El tensiómetro se llena de agua de tal manera que la columna de agua en su interior forma un flujo continuo con el agua de la solución del suelo en el espacio circundante a través de la cápsula porosa. El potencial matricial del suelo circundante ejerce una succión sobre el agua del tensiómetro, lo que se refleja en la lectura del vacuómetro.

### 1.9.1.2.- CÁLCULOS DE BALANCE HÍDRICO EN EL SUELO

Es una técnica de seguimiento de la cantidad de agua disponible en el suelo. Para ello, y a partir de datos climáticos, se hace una estimación del agua que un suelo de referencia ( $1\text{m}^2$  de césped) ha perdido por transpiración de las plantas y por evaporación. A esto se le multiplica el coeficiente de cultivo, para de esta forma estimar el agua que ha perdido el suelo con un cultivo específico y en un estado fenológico específico. Sabiendo el agua que se pierde por evapotranspiración, podremos estimar el agua disponible en el suelo y la cantidad de agua a aportar en el riego. Es un método fácil de aplicar pero con varios inconvenientes, entre ellos: la necesidad de obtener datos fiables para la parcela que queremos, hay que tener un coeficiente de cultivo preciso, los errores de cálculo se arrastran, etc.

## 1.9.2.- Métodos directos

### 1.9.2.1.- POTENCIAL HÍDRICO

El potencial hídrico de la hoja es una medida directa de su estado hídrico y se determina manualmente en campo con una cámara de presión. El sistema de medida se basa en la aplicación de presión sobre el limbo de una hoja que se coloca en el interior de la cámara que la encierra completamente excepto el pecíolo que sale a través de un orificio. La presión se incrementa lentamente hasta que se observa la aparición de gotas de savia en el corte del pecíolo. En ese momento, la presión aplicada corresponde al potencial hídrico de la hoja (Turner, 1981). Se recomienda tomar las medidas de potencial en hoja al mediodía o antes del amanecer que es cuando los valores son más estables (M. Gallardo, 2003).

Para programar los riegos mediante esta técnica es necesario determinar experimentalmente valores umbrales de por debajo de los cuales se empieza a reducir el

crecimiento del cultivo y otros parámetros fisiológicos y se podrían producir pérdidas de producción o efectos no deseados. Hay que conocer también muy bien cómo afectan los factores externos a estas medidas (Jones, 2004). Cuando las medidas alcanzan el valor umbral es cuando se debe regar. El valor de umbral puede cambiar con la variedad y con el estado de desarrollo del cultivo lo cual hace necesario su determinación experimental en cada sistema de cultivo.

#### Ventajas e inconvenientes:

##### Ventajas:

- Buen ajuste entre el estado real de la planta y el valor de la medida.
- Es un sistema aceptado por todos o la mayoría de los técnicos que se dedican a la viticultura.
- De todos los potenciales medidos, este es el que mejor se corresponde con el peso de la baya (Baeza et al., 2007).
- Las condiciones meteorológicas no le afectan como lo hacen el potencial xilemático (Williams et al., 2005).
- De todos los potenciales medidos, este es el que mejor se corresponde con el estado hídrico de la planta (Gruber and Schultz, 2005).
- Se ha usado en muchos estudios como el potencial de referencia (Correia et al., 1995, Rodriguez et al., 1993, Schultz 1996, Van Zyl 1987, Winkel and Rambal 1993).

##### Inconvenientes:

- Es un método caro por tener que hacerlo despacio y antes del amanecer.
- Algunos autores señalan algunas variedades de vid como isohídricas, por lo que para ese caso este método no es útil.
- Cuanto más limitantes sean las condiciones climáticas, el valor de la medida será menos representativo del estado de la planta ya que de esto dependerá más del clima que del estado del agua en el suelo (Baeza et al., 2007). Esto significa que cuanto peores sean las condiciones climáticas menos interés tendrá este valor para calcular cualquier riego.
- No entra en equilibrio con la parte más húmeda del suelo por lo que no es fiable en condiciones de riegos cortos y regulares (Williams et al., 2005). Otros desmienten esta teoría (Cuelemans et al., 1988, Garnier et al., 1987).

#### 1.9.2.2.- POTENCIAL XILEMÁTICO

El potencial xilemático es una medida muy parecida al potencial hídrico. Se mide con la misma instrumentación pero se hace durante el día. Hay que embolsar las hojas para que se queden a oscuras por lo menos una hora y media antes de la medición. De esta manera se corta la transpiración y el potencial de la hoja se iguala con el potencial xilemático. Se suele medir a media mañana (las 9 hora solar en nuestro caso) y al mediodía.

Aquí también hacen falta calcular los valores umbrales con cepas regadas al 100% de la ETc calculada.

#### Ventajas e inconvenientes:

##### Ventajas:

- Buen ajuste entre el estado real de la planta y el valor de la medida.
- Está más relacionado con el agua del suelo que el  $\psi_{aa}$  (Williams y Baeza, 2007; Williams y Araujo, 2002; Williams y Trout, 2005).
- Es igual de buen indicador del estado hídrico de la planta que  $\psi_{aa}$  (Williams y Araujo, 2002; Intrigliolo, 2005).
- Esta mejor relacionado con el crecimiento de las raíces y la fotosíntesis que los potenciales tomados antes del amanecer (Baeza et al., 2007).

##### Inconvenientes:

- Es un método caro por tener que embolsar las hojas y hacerlo despacio.
- Algunos autores señalan algunas variedades de vid como isohídricas, por lo que para ese caso este método no es útil.
- Cuanto más limitantes sean las condiciones climáticas, el valor de la medida será menos representativo del estado de la planta ya que de esto dependerá más del clima que del estado del agua en el suelo (Baeza et al., 2007). Esto significa que cuanto peores sean las condiciones climáticas menos interés tendrá este valor para calcular cualquier riego.
- Para un rango amplio de potencial del suelo, el potencial xilemático puede no variar por lo que no es representativo del agua en el suelo (Cifre et al., 2005).
- Otros autores señalan el potencial xilemático menos preciso que el  $\psi_{aa}$  (Jones 2004).

Cuál de estas medidas es la que mejor describe el estado de la planta es un tema discutido por muchos autores, pero parece que según la situación, el  $\psi_{aa}$ ,  $\psi$  de media mañana y  $\psi_{12}$  pueden ser válidos.

#### 1.9.2.3.- FLUJO DE SAVIA

El flujo de agua por el tallo es una medida directa de la tasa de transpiración de una planta y un indicador muy sensible de su estado hídrico. Esta técnica, al medir la transpiración de la planta, permite calcular de forma precisa las necesidades hídricas del cultivo, teniendo en cuenta que las aportaciones de agua han de ser superiores a la transpiración para satisfacer las pérdidas por evaporación desde el suelo y la ineficiencia de la aplicación. La transpiración de una planta presenta una evolución típica a lo largo del día, alcanzando un valor máximo al mediodía, cuando la radiación es máxima y un mínimo durante la noche. Una evolución anormal durante un día de radiación estable, como por ejemplo una caída en el flujo de savia cuando los valores de radiación son máximos, podría indicar una situación de estrés hídrico (Gallardo y Thompson, 2003).

#### 1.9.2.4.- DENDROMETRÍA

Los tallos o troncos de las plantas sufren contracciones y dilataciones en periodos de hasta 24 horas como consecuencia del desfase entre la tasa de transpiración y la de absorción de agua durante el día. A medida que la demanda evaporativa aumenta por la mañana, la planta empieza a transpirar lo cual causa un descenso en el contenido de agua de las hojas y de los tallos. Ello es debido a la menor resistencia al flujo de agua desde las células de estos tejidos que la resistencia asociada al flujo de agua a través del sistema radicular. Por la tarde, cuando la transpiración decrece al disminuir la demanda evaporativa, la absorción de agua por las raíces continua hasta que todos los tejidos están completamente re-hidratados (Kramer, 1983). Los tallos funcionan en este sentido como reservas de agua y ha sido indicado que los cambios diarios en su diámetro se deben a cambios hídricos en el floema ya que el xilema es un tejido muy inelástico (Molz y Klepper, 1973), de forma que cuando aumenta la tensión hídrica en el xilema, se produce una difusión lateral de agua desde el floema hacia el xilema (Gallardo y Thompson, 2003).

#### 1.9.2.5.- TERMOGRAFÍA DE INFRARROJOS

La temperatura del cultivo es un indicador indirecto de su estado hídrico. En situaciones de estrés hídrico, la transpiración de un cultivo (que al liberar energía enfría las hojas) se reduce por cierre estomático parcial lo cual resulta en un calentamiento de las plantas, y su temperatura aumenta (Gallardo y Thompson, 2003).

Mediante una cámara de infrarrojos se sacan fotos del cultivo. De esta manera, y mediante un tratamiento informático de las termografías se mide la temperatura a la que se encuentra la planta. Cuando esta temperatura es inferior significa que hay transpiración, y que por tanto la planta tiene agua suficiente. De lo contrario, se detecta una situación de estrés hídrico.

##### Ventajas e inconvenientes:

##### Ventajas:

- Método rápido, se puede mecanizar y obtener datos en tiempo real.
- Tiene en cuenta las condiciones climáticas y fisiológicas de la planta.
- Se puede utilizar en cualquier estado fenológico del cultivo.

##### Inconvenientes:

- Muy sensible a los factores climáticos como la radiación y el viento, que pueden modificar la demanda evaporativa.
- Fiable en zonas áridas o semiáridas (cuanto más baja es la demanda evaporativa menos diferencias se ven), (Gallardo y Thompson, 2003).
- Es necesaria una estación climatológica cerca para obtener datos climáticos representativos.
- Indicador tardío del estrés hídrico (Gallardo y Thompson, 2003).



## 2.- OBJETIVO

El objetivo del presente Trabajo de Fin de Carrera es evaluar los distintos métodos de medida de potencial hídrico y temperatura en las hojas como herramienta para la gestión de riego en el cultivar “Tempranillo” de *Vitis vinifera* L.

### **3.- MATERIAL Y MÉTODO**

#### **3.1.- Materiales**

##### **3.1.1.- Material vegetal**

El trabajo se ha efectuado en una explotación vitícola del término municipal de Traibuenas, perteneciente a la Bodega Ochoa. El material vegetal utilizado ha sido *Vitis vinifera* L. variedad "Tempranillo". Las características específicas de la variedad se muestran en el Anejo I. La plantación está conducida en un sistema de poda de cordón doble, apoyada en espaldera. Los brazos de la cepa se sitúan a una altura de unos 50cm y cada brazo tiene 4 o 5 pulgares.

##### **3.1.2.- Material instrumental**

- Cámara de presión Scholander "Soilmoisture P3000"
- Cámara de infrarrojos "Therma CAM B2", y su software "Therma CAM Software".
- Estación meteorológica ubicada en El Plano, Bardenas; donde se registraban datos cada 10 minutos, de temperatura del aire, humedad relativa, precipitaciones. Más detalles de la estación climática en el Anejo II.
- Calibre digital
- Bolsas aluminizadas y herméticas para mediciones de potencial xilemático
- Cinta métrica
- Software: Microsoft Office v. 2007 y SPSS v. 17.0.

#### **3.2.- Método**

##### **3.2.1.- Diseño del ensayo**

Con el fin de abarcar un mayor rango de situaciones vitícolas dentro del estudio para así conseguir resultados más generalizables, trabajó en zonas del viñedo con diferente suelo en las que se establecieron varios niveles de carga

En lo relativo al suelo, se eligieron tres parcelas diferentes que se corresponden con tres suelos diferentes:

- Suelo de cascajo: es un suelo con un porcentaje muy alto de piedras. No sabemos cómo es la granulometría a diferentes alturas del perfil del suelo, pero la superficie se encuentra cubierta de piedras procedentes del río (cantos rodados).
- Suelo con cubierta vegetal: el suelo está recubierto por plantas adventicias. Para controlar su crecimiento, la cubierta es segada varias veces al año. En verano las plantas se encuentran secas, por lo que no compiten con la viña.

- Suelo labrado: este suelo se mantiene mediante un labrado con cultivador. De esta manera se evita la aparición de las plantas adventicias y se rompe la capa superficial que se produce en suelos con arcilla.

En cada una de estas parcelas, se escogieron 30 cepas uniformes en lo referido a su sección de tronco y representativas de la zona del viñedo en la que se encontraban. Se establecieron tres condiciones de viñedo según la carga que se les dejó antes del envero: carga normal, media carga o sin carga:

- Las cepas con una “carga normal” han sido aquellas a las que no se les eliminó ningún racimo.
- A las cepas denominadas de “media carga”, se les dejó un racimo por pámpano fértil.
- Las cepas “sin carga” han sido las que se eliminaron todos sus racimos

### **3.2.2.- Controles realizados**

Los controles previstos se organizaron en días completos de medición que se llevaron a cabo 2 veces por semana: los lunes y jueves. De esta forma las salidas al campo se hicieron el 16, 19, 22, 25 y 29 de junio, 2, 6, 9, 13, 16, 20, 23, 27 y 30 de julio, 3, 6, 10, 13, 17, 20, 24, 27 y 31 de agosto y 3, 7, y 10 de septiembre. Las medidas de los días en los que hubo precipitaciones o riegos no se han tenido en cuenta para el análisis estadístico.

#### **3.2.2.1.- POTENCIAL HÍDRICO AL AMANECER (Phaa)**

La medida de potencial hídrico se realizó con la cámara Scholander. Este método consiste en aplicar presión, sobre una hoja escindida, hasta que se empiezan a ver unas pequeñas gotas de savia sobre el pecíolo. En ese momento se deja de aplicar presión y se registra el valor que marca el manómetro de la cámara. Los valores de potencial se expresan en MPa (megapascales) y siempre son negativos. El potencial hídrico foliar se midió antes de amanecer (entre las 4 y las 6 de la mañana), garantizando que siempre se realizara antes de que saliera el sol.

De cada parcela y tratamiento se cogieron 5 hojas pertenecientes a 5 de las 10 cepas de cada subgrupo establecido.

#### **3.2.2.2.- POTENCIAL XILEMÁTICO (Px9, Px12)**

El potencial xilemático se midió, como en el caso anterior, con la cámara de presión Scholander. El método de medida del potencial xilemático difiere del método de potencial hídrico en que, hora y media antes de tomar las medidas hay que colocar en cada hoja, aún unida a la planta, una bolsa aluminizada y hermética que evitará la transpiración, para que el potencial hídrico de la hoja se iguale al potencial hídrico del xilema del resto de la planta.

Las medidas fueron tomadas en una primera tanda entre las 8:30 y 9:30 de la mañana hora solar (Px9), y una segunda, entre las 11:30 y 12:30 horas de la tarde (Px12). El horario se

cumplió estrictamente para que todas las hojas estuvieran cubiertas por la bolsa aluminizada el mismo tiempo para poder hacer comparaciones. Las medidas se hicieron siempre con el mismo orden entre las parcelas, empezando por el suelo de cascajo, suelo labrado y suelo con cubierta vegetal.

De cada parcela se tomaban 5 hojas: 3 de una cara y 2 de la otra; se elegían aleatoriamente en cuál de las caras (soleada o no soleada) se cogían cada número de hojas.

### 3.2.2.3.- TEMPERATURA DE CANOPY (Tcan)

La temperatura canopy se obtuvo a través de termografías realizadas con la cámara de infrarrojos. Las termografías fueron tomadas en el mismo momento en el que se realizaban las medidas de los potenciales xilemáticos. Se hacían tres termografías al lado soleado de la planta y otras 3 a la zona no soleada. De esta manera se obtenían seis termografías de seis plantas diferentes para cada tratamiento. Cada imagen fue tratada con "Therma CAM Software", en el que se elegían las zonas representativas de las fotos con las que se calculaba la temperatura de canopy en °C.

Con esta herramienta se obtuvieron 4 variables:

- Temperatura de Canopy de las 9 de la mañana del lado soleado (Tcan9sol).
- Temperatura de Canopy de las 9 de la mañana del lado no soleado (Tcan9somb).
- Temperatura de Canopy de las 12 del mediodía del lado soleado (Tcan12sol).
- Temperatura de Canopy de las 12 del mediodía del lado no soleado (Tcan12somb).

### 3.2.3.- Variables climáticas

Algunas variables climáticas se obtuvieron directamente de la estación climática de El Plano (Bardenas) y otras han sido calculada a partir de los datos proporcionados por la estación.

#### 3.2.3.1.- PARÁMETROS REGISTRADOS

Son aquellos datos que se obtienen directamente de la estación meteorológica. Los datos han sido descargados directamente desde internet (<http://meteo.navarra.es>).

- La temperatura del aire (T): tomada a dos metros de altura por un termómetro colocado a la sombra cada diez minutos. Las temperaturas utilizadas son las medias de las temperaturas registradas desde 30 minutos antes de la hora de medición hasta 30 minutos después. De esta forma se representa la temperatura media que hubo durante la medición.
- Humedad relativa (HR): este dato representa humedad que contiene una masa de aire, en relación con la máxima humedad que podría admitir sin

producirse condensación, conservando las mismas condiciones de temperatura y presión atmosférica. Se expresa en tanto por ciento (%).

### 3.2.3.2.- PARÁMETROS CALCULADOS

Son los parámetros calculados a partir de los datos climáticos registrados en la estación meteorológica.

- Déficit de presión de vapor (DPV): es un parámetro para la estimación de la transpiración de la planta. Este dato valora la fuerza con la que el aire absorbe el agua de la planta. Se ha calculado mediante el método descrito por Browning *et al.*, 2004 y Levy *et al.*, 1999.

$$DPV = 0,6108 \times 2,7183^{\frac{15 - T_a}{5}} \times \frac{100 - HR}{100}$$

### 3.2.4.- Tratamiento de datos

Los datos obtenidos en todas las parcelas y niveles de carga se analizaron conjuntamente al objeto de establecer las posibles relaciones entre parámetros de medida de estado hídrico de las cepas entre sí y con las condiciones meteorológicas, mediante análisis de regresión.

- Simple en el caso de comparar dos variables.

El análisis de regresión simple se realizó mediante análisis de mínimos cuadrados, donde se incluía el término independiente incluso cuando se observaba que no era significativo (Neter, 1996).

- Múltiple si se analizan más de dos variables.

Los análisis de regresión múltiple se realizaron utilizando el procedimiento de selección de variables "hacia atrás" (*backward analysis*) imponiendo la condición de que la variable se eliminaba si  $p > 0,10$ . La ausencia de colinealidad entre variables independientes se comprobó mediante el cálculo del vector de inflación de la varianza (VIF) considerando como valor límite para la inclusión en el modelo el de  $VIF=5$ . La importancia relativa de cada una de las variables independientes introducidas en el modelo se ha valorado mediante la comparación de los coeficientes no estandarizados ( $\beta$ ). Todos los análisis se han realizado con el paquete estadístico SPSS v 17.0.

Por último, para calcular la capacidad que cada método tiene de diferenciar entre los diferentes estados hídricos de las plantas se ha usado el método de "Ratio de Discriminación" (Browning *et al.*, 2004; Levy *et al.*, 1999).

## 4.- RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 4.1.- Evaluación de la relación existente entre el potencial hídrico antes del amanecer y el potencial xilemático.

#### 4.1.1.- Comparación del momento de medida del potencial xilemático.

En el Cuadro Nº2 se recogen los resultados del análisis de regresión simple entre las medidas de potencial hídrico y los potenciales xilemáticos de las 9 y las 12.

Cuadro Nº2: relación del Potencial xilemático a las 9 y a las 12 (Px9h y Px12h) con el potencial hídrico antes del amanecer (Phaa).

Y	x <sub>1</sub>	R <sup>2</sup> (corr)	P	df	x <sub>1</sub>		VIF	Ecuación
					P	β		
Px9h	Phaa	0,380	<0.001	76	<0.001	0,623	1	Px9h= -0,548 + 0,893Phaa
Px12h	Phaa	0,299	<0.001	76	<0.001	0,555	1	Px12h= -0,777 + 0,737Phaa

Se comprueba que las medidas tomadas antes del amanecer (las de referencia) han estado relacionadas con las tomadas a las 9 y a las 12 (hora solar). Sin embargo, muestran unos coeficiente de determinación relativamente bajos ( $R^2 = 0,380$  y  $R^2 = 0,299$ , respectivamente) que indican que no es posible utilizar solamente esas variables para estimar a partir de ellos la medida de antes del amanecer.

William y Araujo (2002) encontraron también relaciones entre las medidas de estado hídrico de antes del amanecer, potencial xilemático del mediodía y potencial de hoja <sup>1</sup>de esa misma hora, aunque con  $R^2$  mayores. Baeza *et al.* (2007) hicieron un estudio en viñas de *Cabernet-Sauvignon* en Madrid, a partir del cual concluyeron que la medida de potencial xilemático que mejor se ajustaba a la medida de potencial hídrico era el de media mañana y no el del mediodía. Intrigliolo y Castell, (2006) demostraron que en una viña de Tempranillo situada en Requena, Valencia, la medida de potencial xilemático de la mañana era capaz de distinguir entre los diferentes tratamientos de diferente régimen hídrico. A su vez, el potencial xilemático de esta misma hora guardaba una estrecha relación con el potencial hídrico de antes del amanecer (el de referencia). Por eso afirmaron que ambos, potencial de antes del amanecer ( $\Psi_{aa}$ ) y potencial de media mañana ( $\Psi_{x9}$ ), eran las más fiables que las medidas del mediodía para conocer el estado hídrico de la planta. También afirmaron que habría que tener en cuenta las variables climáticas para obtener una mayor fiabilidad.

Conforme avanza el día, la temperatura sube por lo que consumo de agua de la planta es mayor. Por tanto, cuanto más tarde se hace la medida, los potenciales tienden a subir. Y por esta razón los potenciales tomados más tarde pierden la capacidad de representar el

<sup>1</sup> Medida de estado hídrico que se efectúa como la medida de potencial xilemático pero sin haber embolsado las hojas.

verdadero estado hídrico de la planta. Debido a esto sería posible obtener dos lecturas de  $\psi_{x12}$  similares en plantas que, por la razón que fuera, tuvieran diferente grado de estrés.

#### 4.1.2.- Evaluación del efecto de las variables climáticas en el momento de medida del Potencial Hídrico.

Se introdujeron tres variables climáticas al objeto de ver si contribuían a explicar mejor la relación existente entre las medidas de potenciales. Las variables que se introdujeron fueron: humedad relativa (HR), temperatura del aire ( $T^a$ ) y déficit de presión de vapor (DPV); que relaciona las dos anteriores. En el Cuadro Nº 3 se muestra los resultados del análisis estadístico.

**Cuadro Nº3: resultados del análisis de regresión múltiple entre el potencial xilemático a las 9 y 12 horas (Px9h y Px12h) con el estado hídrico antes del amanecer (Phaa) y variables climáticas.**

Y	$x_1$	$x_2$	$R^2$ (corr)	P	df	$x_1$		$x_2$		VIF	Ecuación
						P	$\beta$	P	$\beta$		
Px9h	Phaa	HR 9	0,380	<0.001	76	<0.001	0,623	-	-	1,000	Px9h= -0,548 + 0,893Phaa
Px9h	Phaa	$T^a$ 9	0,494	<0.001	75	<0.001	0,526	<0.001	-0,359	1,078	Px9h= 0,119 + 0,755Phaa - 0,031 $T^a$ 9
Px9h	Phaa	Dpv9h	0,444	<0.001	75	<0.001	0,506	0,002	-0,29	1,193	Px9h= -0,404 + 0,725Phaa - 0,133DPV9
Px12h	Phaa	HR 12	0,299	<0.001	76	<0.001	0,555	-	-	1,000	Px12h= -0,777 + 0,737Phaa
Px12h	Phaa	$T^a$ 12	0,500	<0.001	75	<0.001	0,399	<0.001	-0,479	1,118	Px12h= 0,148 + 0,530Phaa - 0,036 $T^a$ 12
Px12h	Phaa	Dpv12h	0,386	<0.001	75	<0.001	0,38	0,001	-0,353	1,323	Px12h= -0,677 + 0,506Phaa - 0,108DPV12

#### **Humedad Relativa:**

La lectura de potencial xilemático no se vio afectado por las condiciones de humedad relativa del ambiente. En la mayoría de los días de control, el valor de la humedad relativa ha rondado en torno al 40% y 60% (datos no mostrados). Dicho de otra forma: no se ha abarcado un rango suficientemente amplio de condiciones de humedad, por lo que no se ha podido valorar suficientemente la influencia de esta variable. Por este motivo, desde el punto de vista estadístico, no se halla relación alguna entre la humedad relativa y  $\psi_{x9}$ .

#### **Temperatura:**

La inclusión de la temperatura es, de los tres parámetros anteriores, el que permite alcanzar valores de  $R^2$  mayores (0,494 y 0,500). La temperatura, además de aumentar el déficit de presión de vapor de agua (DPV), activa los procesos de la cepa aumentando el consumo del agua, por lo que tiene un efecto doble, posiblemente por ello sea el que tenga la  $R^2$  más alta.

Durante el día, cuando la temperatura aumenta, el estrés hídrico de la planta se hace cada vez mayor. Al ser viñas con un régimen hídrico deficitario, la planta tiene una necesidad de agua mayor que la que está disponible, produciéndose el estrés hídrico en todas las plantas. El grado de este estrés depende más de la temperatura del aire que al estado hídrico de partida

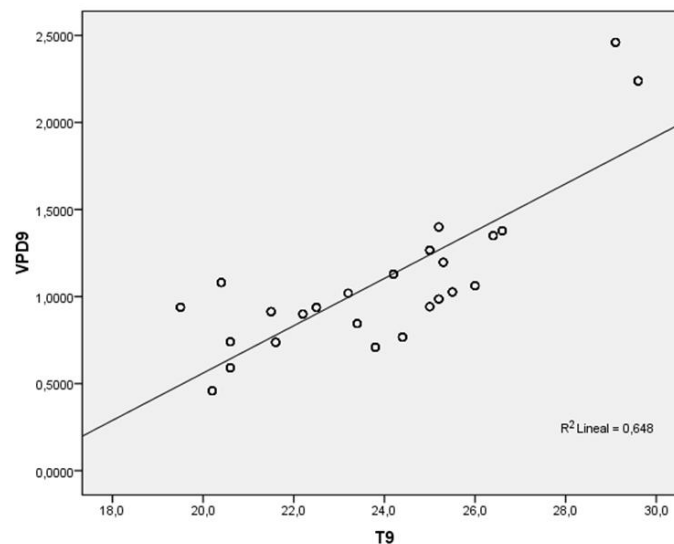
### Déficit de Presión de Vapor de Agua (DPV):

El déficit de presión de vapor de agua es un factor que condiciona los resultados del  $\psi_{x9}$  y  $\psi_{x12}$ . La tasa de transpiración está muy ligada a la fuerza que la atmosfera le hace para extraerle el agua a la planta (DPV). Cuanto mayor sea esta fuerza, más agua perderá la cepa, aumentando la lectura del potencial hídrico.

Williams y Baeza (2007) encontraron relaciones entre las medidas de estado hídrico de la planta y el déficit de presión de vapor de agua en viñas regadas con el 100% de la ETC., sin embargo, no encontraron esta relación en viñas con cierto grado de estrés hídrico. Nuestras viñas han tenido un régimen de estrés medio-alto por lo que, de acuerdo con lo obtenido en el ensayo anteriormente citado, es normal que el déficit de presión de vapor no haya estado muy relacionado con el estado hídrico de las viñas. Williams y Baeza (2007) llegaron a la conclusión de que cuanto que el suelo está más seco, la temperatura y el DPV son menos condicionantes del estado hídrico de la planta, en pro del  $\psi_{\text{suelo}}$ . Por lo tanto, en casos de viñas estresadas como la nuestra, el estado hídrico de la planta habrá estado poco condicionado por el DPV y más por otros factores como la humedad del suelo.

En el caso que se trata ahora, la temperatura ha obtenido una  $R^2$  mayor que el déficit de presión de vapor de agua ( $R^2 = 0,494$  y  $R^2 = 0,444$ , respectivamente). En el clima de Traibuenas, donde la humedad relativa no varía mucho, el valor de DPV depende en gran medida de la temperatura. En la figura Nº5 se muestra la relación que se encontró entre estas dos variables climáticas medidas a las 9.

Figura Nº 5: relación entre la temperatura y el déficit de presión de vapor de agua (DPV) a las 9 de la mañana.



La relación existente entre estos dos parámetros climáticos explica que ambos obtengan una  $R^2$  similar (0,444 y 0,494) en el análisis de regresión múltiple. Grimes *et al.* (1987) encontraron una relación significativa entre la temperatura del aire y el DPV para climas semiáridos.



#### 4.1.3.- Evaluación de la relación de la temperatura de las hojas con el momento de medida del Potencial Hídrico.

En el Cuadro Nº4 se reflejan las relaciones existentes entre los potenciales xilemáticos (Px9h, Px12h) con el potencial hídrico antes del amanecer (Phaa) y las temperaturas de canopy.

**Cuadro Nº4: relaciones entre los potenciales hídricos antes del amanecer (Phaa) y temperaturas de canopy con potenciales xilemáticos a las 9 y 12 horas (Px9h y Px12h).**

Y	x <sub>1</sub>	x <sub>2</sub>	R <sup>2</sup> (corr)	P	df	x <sub>1</sub>		x <sub>2</sub>		VIF	Ecuación
						P	β	P	β		
Px9h	Phaa	Tcan9h sol	0,603	<0.001	75	<0.001	0,551	<0.001	-0,48	1,023	Px9h= 0,496 + 0,79Phaa - 0,041Tcan9sol
Px9h	Phaa	Tcan9h sombra	0,490	<0.001	75	<0.001	0,588	<0.001	-0,342	1,010	Px9h= 0,169 + 0,844Phaa - 0,029Tcan9somb
Px12h	Phaa	Tcan12h sol	0,593	<0.001	75	<0.001	0,377	<0.001	-0,572	1,107	Px12h= 0,135 + 0,5Phaa - 0,034Tcan12sol
Px12h	Phaa	Tcan12h sombra	0,589	<0.001	75	<0.001	0,337	<0.001	-0,583	1,162	Px12h= 0,119 + 0,448Phaa - 0,034Tcan12somb

Se han observado índices de correlación mayores con las variables de temperatura de canopy que con cualquier otro parámetro relacionado con el clima (apartado 4.1.2).

Existe gran diferencia entre los índices de correlación de las 9 de la mañana cuando se introduce la temperatura del lado soleado o no soleado: el lado no soleado, (cara Oeste), presenta los índices de correlación más bajos, mientras que el lado soleado (cara Este) tiene los mayores.

A las 9 el sol calienta el lado orientado al Este, produciendo diferencias importantes en la temperatura de las hojas de las dos caras. La zona soleada se calienta, comenzando la transpiración, por lo que sube la tensión a la que el agua se retiene en el xilema, es decir, disminuyen los valores de las medidas de potencial xilemático. La zona sombría aún sigue fresca por lo que su temperatura no se corresponde ni con su actividad ni con el estado hídrico esperado para la planta.

En las temperaturas del mediodía, se ha dado un resultado muy parecido introduciendo cualquiera de las temperaturas del lado no soleado o soleado en el análisis. A esta hora el sol se encuentra en el punto más alto del día. Al ser viñas con una orientación norte-sur, a esta hora la sombra es mínima por lo que desaparecen las diferencias de temperaturas entre ambas caras.

Jones *et al.* (2002) concluyeron que para determinar la conductancia de las estomas las mejores termografías eran las sacadas en la cara soleada de la cepa. En nuestro caso, de acuerdo con este artículo, los valores que mejor se han relacionado con el estado hídrico en nuestras viñas han sido, indiferentemente de la hora, los de la cara soleada.

Salón *et al.* (2005) usaron siempre hojas de la cara no soleada de las viñas para hacer las medidas de potencial hídrico de la mañana. Al mediodía, sin embargo, utilizaron los del lado soleado. Fueron viñas situadas en Requena, Valencia, con una orientación este-oeste. En nuestro caso, se ha determinado que a ambas horas, las hojas que más relación guardan con el estado hídrico son las de la cara soleada. En esas viñas, por su orientación, hay una cara que es

la soleada y otra que es la sombría durante todo el día, no como en nuestra viña en la que cambia según se mide a la tarde o a la mañana. Por esta razón, los resultados obtenidos por Salon *et al.* (2005) no son comparables con los nuestros.

Se ha probado a introducir otras variables, tales como carga o sección máxima de pámpano pero estos se ven desplazados de la ecuación por su falta de relación con el potencial xilemático de las 9 y 12 (resultados no mostrados).

## 4.2.- Evaluación de la relación entre la temperatura de canopy y el potencial hídrico y xilemático.

### 4.2.1.- Evaluación de la relación existente entre la diferencia de temperaturas planta-aire y potencial hídrico y xilemático.

En el Cuadro Nº5 se recogen las relaciones observadas entre el potencial hídrico y xilemático de las 9 y las 12 y las diferencias de temperatura planta-aire a la misma hora.

**Cuadro Nº5: relación entre la diferencia de temperatura planta-aire y las medidas de estado hídrico (Phaa, Px9h y Px12h).**

Y	X <sub>1</sub>	R <sup>2</sup> (corr)	p	df	X <sub>1</sub>		VIF	Ecuación
					P	β		
TCan9h-T <sup>a</sup> 9h sol	Phaa	0,000	-	-	-	-	-	-
TCan9h-T <sup>a</sup> 9h sol	Px9h	0,000	-	-	-	-	-	-
TCan9h-T <sup>a</sup> 9h sombra	Phaa	0,046	0,033	76	0,033	0,242	1,000	Tcan9somb-T9= 2,622 + 2,84Phaa
TCan9h-T <sup>a</sup> 9h sombra	Px9h	0,030	0,012	175	0,012	0,19	1,000	Tcan9somb-T9= 2,578 + 1,344Px9h
TCan12h-T12hsol	Phaa	0,000	-	-	-	-	-	-
TCan12h-T12hsol	Px12h	0,000	-	-	-	-	-	-
TCan12h-T12hsomb	Phaa	0,000	-	-	-	-	-	-
TCan12h-T12hsomb	Px12h	0,000	-	-	-	-	-	-

La mayoría de las medidas de diferencia de temperaturas planta-aire ( $\Delta T$ ) no han tenido relación alguna con los potenciales ( $\psi_{aa}$  y  $\psi_{x9}$ ). Sin embargo, las medidas del lado sombreado de las 9 si que la han tenido. Aún así, la relación existente  $\Delta T_{9sombra}$  y medidas de potencial hídrico son muy pequeñas por lo que no se tendrán en cuenta.

Jones *et al.* (2002) llegaron a la conclusión de que las termografías eran útiles para estimar el estado hídrico de las plantas de una gran área.

Algunos autores (Restrepo *et al.*, 2007; Williams *et al.*, 2007; Jones, 2004) recomiendan tener superficies de referencia (hojas húmedas o cepas regadas al 100% Etc) para ver cómo afectan las condiciones climáticas y poder compararlos con el resto del cultivo.

En nuestro caso, las medidas de diferencia de temperatura planta-aire no están relacionadas por el estado hídrico de la planta. Sin embargo, no se ha utilizado ninguna superficie de referencia que pudiera ayudar a encontrar relaciones entre diferencia de temperaturas planta-aire ( $\Delta T$ ) y estado hídrico de la planta.

**4.2.2.- Evaluación de la relación existente entre la diferencia de temperaturas planta-aire y potencial xilemático introduciendo variables climáticas.**

En el Cuadro Nº6 de muestran los resultados del análisis de regresión múltiple de las medidas de potencial hídrico, diferencia de temperaturas planta-aire y medidas de temperatura, humedad relativa e índice de déficit de presión de vapor.

**Cuadro Nº6: relación entre diferencia de temperatura planta-aire con estado hídrico (Phaa y Px9h) y variables climáticas (HR, Tª y DPV) medidas al amanecer y a las 9 horas.**

Y	x <sub>1</sub>	x <sub>2</sub>	R <sup>2</sup> (corr)	p	df	x <sub>1</sub>		x <sub>2</sub>		VIF	Ecuación
						P	β	P	β		
TCan9h-Tª9h sombra	Phaa	HRaa	0,124	0,003	75	0,002	0,362	0,007	-0,320	1,000	Tcan9somb-T9= 5,762 + 4,245Phaa - 0,033HRaa
TCan9h-Tª9h sombra	Phaa	HR9	0,000	-	-	-	-	-	-	-	-
TCan9h-Tª9h sombra	Phaa	Tªaa	0,046	0,033	76	0,033	0,242	-	-	1,000	Tcan9somb-T9= 2,622 + 2,84Phaa
TCan9h-Tª9h sombra	Phaa	Tª9	0,117	0,001	76	-	-	0,001	-0,359	1,000	Tcan9somb-T9= 7,215 - 0,251T9
TCan9h-Tª9h sombra	Phaa	DPVaa	0,000	-	-	-	-	-	-	-	-
TCan9h-Tª9h sombra	Phaa	DPV9	0,000	-	-	-	-	-	-	-	-
TCan9h-Tª9h sombra	Px9h	HR9	0,044	0,008	174	0,063	0,145	0,065	1,44	1,000	Tcan9somb-T9= 1,150 + 1,028Px9h + 0,021HR9
TCan9h-Tª9h sombra	Px9h	Tª9	0,143	<0,001	175	-	-	<0,001	-0,385	1,000	Tcan9somb-T9= 6,710 - 0,229T9
TCan9h-Tª9h sombra	Px9h	DPV9	0,000	-	-	-	-	-	-	-	-

Se observa que las variables climáticas no ayudan a mejorar la escasa relación que ha habido entre las diferencias de temperatura planta-aire y las medidas de estado hídrico de la planta.

- El DPV no interviene en la relación de diferencias de temperatura y potenciales en ninguno de los casos analizados.
- La temperatura de las nueve aparece relacionada solamente con la diferencia de temperaturas planta-aire, dejando fuera de la ecuación a los potenciales.
- La humedad relativa, aparentemente, sí que ayuda a explicar mejor la relación entre la diferencia de temperaturas planta-aire y las medidas de los potenciales. Al igual que la temperatura, la humedad relativa también está ligada a la lectura de la temperatura canopy (datos no mostrados), por esta razón se relaciona indirectamente la humedad relativa con la diferencia de temperaturas.

De las relaciones obtenidas, las termografías no han resultado un instrumento útil para conocer el estado hídrico de las plantas; ni siquiera introduciendo variables climáticas.

### 4.3.- Evaluación de la capacidad de discriminación de las medidas de potencial hídrico y Tª canopy a distintas horas del día

Mediante el método estadístico “Ratio de Discriminación” se ha obtenido un parámetro que permite estimar la capacidad que tiene cada tipo de medida para discriminar entre los diferentes estados del cultivo. En el Cuadro N°7 se muestran los resultados.

Cuadro N°7: capacidad de discriminar para cada tipo de medida según “ratio de discriminación”.

	Medida	DT_intra	DT_inter	DT_underlying	DR
Sol	Tcan9h-T9h	0,54	1,75	1,74	3,22
	Tcan12h-T12h	0,55	1,58	1,56	2,84
Sombra	Tcan9h-T9h	0,45	1,75	1,74	3,87
	Tcan12h-T12h	0,55	1,58	1,56	2,84
	Phaa	0,07	0,17	0,17	2,43
	Px9h	0,17	0,49	0,49	2,88
	Px12h	0,16	0,28	0,27	1,69

Los valores más altos del ratio de discriminación se obtienen de los métodos de medición con termografías. Esto significa que según este método matemático la mejor forma de medir el estado hídrico de las plantas es mediante la diferencia de temperatura planta-aire. Sin embargo ya se ha comprobado que estas no guardan relación alguna con el estado hídrico de las plantas, al menos en nuestro caso. Por esta razón se descartará la medida de diferencia de temperaturas planta-aire como indicador del estado hídrico de la planta.

De los valores del ratio de discriminación (DR) de los potenciales, el más bajo ha sido el de la medida del mediodía. Anteriormente se ha visto (punto 4.1.1) que esta medida no es útil para medir el estado hídrico de la planta y el método del ratio de discriminación lo confirma.

La medida de potencial que mayor DR tiene es el de las 9, mayor incluso que el de referencia ( $\psi_{aa}$ ). Desde un punto de vista matemático este sería el mejor método para estimar el estrés de la viña.

Otros autores que han realizado ensayos similares han llegado a estas conclusiones:

Jones (2004) recomienda que se usen viñas regadas al 100% de la ETc como superficies de referencia para poder comparar los potenciales de las viñas de producción con las superficies de referencia y conocer mejor el estado hídrico de la planta.

Intrigliolo y Castel (2006) concluyeron que el potencial xilemático de las 9 viene a confirmar bastante bien los resultados obtenidos por el  $\psi_{aa}$ . También recalcaron que las medidas  $\psi_{aa}$  y  $\psi_{x9h}$  son mejores indicadores del estado hídrico de las plantas que las medidas tomadas al mediodía.



En nuestro caso, el  $\psi_{x9}$  no es un indicador lo suficiente bueno como para medir el estado hídrico de la planta. Sin embargo, y de acuerdo con Intrigliolo y Castel (2006), el  $\psi_{x9}$  se corresponde mejor con el estado de la planta que las medidas tomadas más tarde ( $\psi_{x12}$ ).

## 5.- CONCLUSIONES

- De los métodos ensayados (potencial xilemático de las 9, potencial xilemático de las 12 y temperatura de canopy) no ha habido ningún método lo suficientemente fiable que por sí solo haya sido capaz de sustituir al potencial hídrico de antes del amanecer.
- Únicamente podría ser utilizado el potencial xilemático de las 9h y 12h (hora solar) siempre que se tuviesen en cuenta las condiciones meteorológicas del día, en particular la temperatura de canopy del lado soleado.
- Desde el punto de vista matemático, el potencial con mayor capacidad de discriminar entre plantas con diferente grado de estrés es el potencial xilemático de las 9 horas.
- Para obtener herramientas más precisas que pudiesen sustituir la medida del potencial hídrico sería preciso utilizar más variables relacionadas con el estado hídrico del suelo, las condiciones climáticas o utilizando como referencia cepas no estresadas (regadas al 100% de la ETc).

## 6.- **BIBLIOGRAFÍA**

- Baeza, P.; Sánchez de Miguel, P.; Centeno, A.; Junquera, P.; Linares, R.; Lissarrague, J.R. 2007. Water relations between leaf water potential, photosynthesis and agronomic vine response as a tool for establishing thresholds in irrigation scheduling. *Scientia Horticulturae* 114: 151-158
- Fernandez, M.; Lorenzo, P.; Cuadrado, I.M. 2003. Mejora de la eficiencia en el uso del agua en cultivos protegidos. Ed. Varios-Cúspide. 562pp.
- Hidalgo, L. 2002. Tratado de Viticultura General. 3ª edición. Ed. Mundi-Prensa. 1172pp.
- Instituto nacional de tecnología agropecuaria: [www.inta.gov.ar/balcarce/info/documentos/posters/30/dellama1.htm](http://www.inta.gov.ar/balcarce/info/documentos/posters/30/dellama1.htm) consultado el 02/03/2010.
- Intrigliolo, D.S.; Castel, J.R. 2006. Vine and soil-based measures of water status in a Tempranillo vineyard. *Vitis* 45 (4), 157-163.
- Jones, H. 2004. Irrigation scheduling: advantages and pitfalls of plant-based methods. *Journal of Experimental Botany* N° 55: 407
- Jones, H.; Stoll, M.; Santos, T.; de Sousa, C.; Chaves, M.; Grant, O. 2002. Use of infrared thermography for monitoring stomatal closure in the field: application to grapevine. *Journal of Experimental Botany* Vol. 53, N° 378.
- MARM: Ministerio de Medio-Ambiente y Medio Rural y Marino: <http://www.mapa.es/es/estadistica/infoestad.html> consultado el 27/02/2010.
- Organización internacional de la viña y el vino (OIV): [http://news.reseau-concept.net/pls/news/p\\_entree?i\\_sid=&i\\_type\\_edition\\_id=20869&i\\_section\\_id=&i\\_lang=33](http://news.reseau-concept.net/pls/news/p_entree?i_sid=&i_type_edition_id=20869&i_section_id=&i_lang=33) consultado el 27/02/2010.
- Restrepo, H.; Londoño, C.M.; Vega, O.A. La temperatura de la hoja como respuesta al déficit de presión de vapor en un cultivo de naranja valenciana. <http://www.agro.unalmed.edu.co/recursos/docs/pdf/ponencia%20hurestre.pdf>
- Reynier, A. 2002. Manual de viticultura. 6a edición. Ed. Mundi-Prensa. 497pp.

- Ribéreau-Gayón, J.; Peynaud, E. 1971. Tratado de ampelología. Ciencias y técnicas de la viña. Tomo I: biología de la viña. Suelos de viñedos. Ed. Hemisferio Sur. 671pp.
- Salón, S.L.; Chirivella, C.; Castel, J.R. 2005. Response of cv. Bobal to Timing of Deficit Irrigation in Requena, Spain: Water Relations, Yield, and Wine Quality. American Society for Enology and Viticulture. 56:1.
- Williams, L.E.; Araujo, F.J. 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. Amer. Soc. Hort. Sci. 127(3):448-454.
- Williams, L.; Baeza, P. 2007. Relationships among ambient temperature and vapor pressure deficit on leaf and stem water potentials of fully irrigated, field-grown grapesvines. American Journal Enol. Vitic. Vol. 58: 2.
- Williams, L.; Trout, T. 2005. Relationships among Vine- and Soil- based measures of water status in a Thompson seedling vineyard in response to high-frequency drip irrigation. American Journal Enol. Vitic. Vol. 56: 4.



# ANEJOS

## **ANEJO I**

### **CARACTERÍSTICAS GENERALES DE *VITIS VINÍFERA* L. cv. TEMPRANILLO**

#### **Origen y sinonimia:**

El tempranillo es la variedad más extendida en España. Recibe este nombre por su pronta maduración respecto a las otras variedades. Está presente en 28 de las 54 Denominaciones de Origen y en 27 de las 49 comarcas productoras «de Vino de la Tierra. También se cultiva en Portugal, Francia, Argentina y Estados Unidos. Podría tener un origen borgoñón por la similitud con el proceso vegetativo de la Pinot Noir. Según esta hipótesis, procedería de los esquejes que los monjes borgoñeses de Cluny dispersaron por los diferentes monasterios castellanos de la orden.

Según la zona presenta distintos nombres, más de 15: Aragonez, Arganda, Cencibel Chinchillana, Escobera, Garnacho, Foño, Jaciuera, Negra de Mesa, Tinta Santiago, Tinta Montereiro, Tinto Fino, Tinto País, Tinto Riojano, Tinto de Toro, Tinto de Madrid, Ull de Liebre, Valdepeñas, Verdiell y Vid de Aranda.

En líneas generales, los mejores vinos de tempranillo se obtienen en zonas con alta insolación y con temperaturas nocturnas muy frías. En estas condiciones se alcanzan graduaciones alcohólicas más altas y una buena acidez, lo que permite obtener vinos de altísima calidad.

#### **Caracteres ampelográficos:**

- Cepa: vigorosa, de aspecto semiderecho.
- Sumidad: algodonosa blanca, con rebordes rosados.
- Hojas jóvenes: vellosa, bronceadas, con el envés algodonoso.
- Hojas adultas: grandes, de forma truncada, arrolladas, abarquilladas en el punto recolar y profundamente lobuladas. Senos laterales de fondo agudo; senos superiores, a veces, superpuestos. Dientes ojivales y de tamaño medio. Envés arañoso, con pelos pubescentes en las nervaduras. En otoño, el follaje enrojece prácticamente en su totalidad.
- Brazos: apostillados, verdes, de color pardo-rojizo en el lado opuesto al sol.
- Sarmientos: color amarillo claro, más o menos grisáceo, con nudos oscuros no pruinados.
- Racimo: tamaño medio, compacto, largo y alado.
- Baya: tamaño medio, esféricas, de color negro azulado. Hollejo bastante áspero, pulpa canosa y piel jugosa.

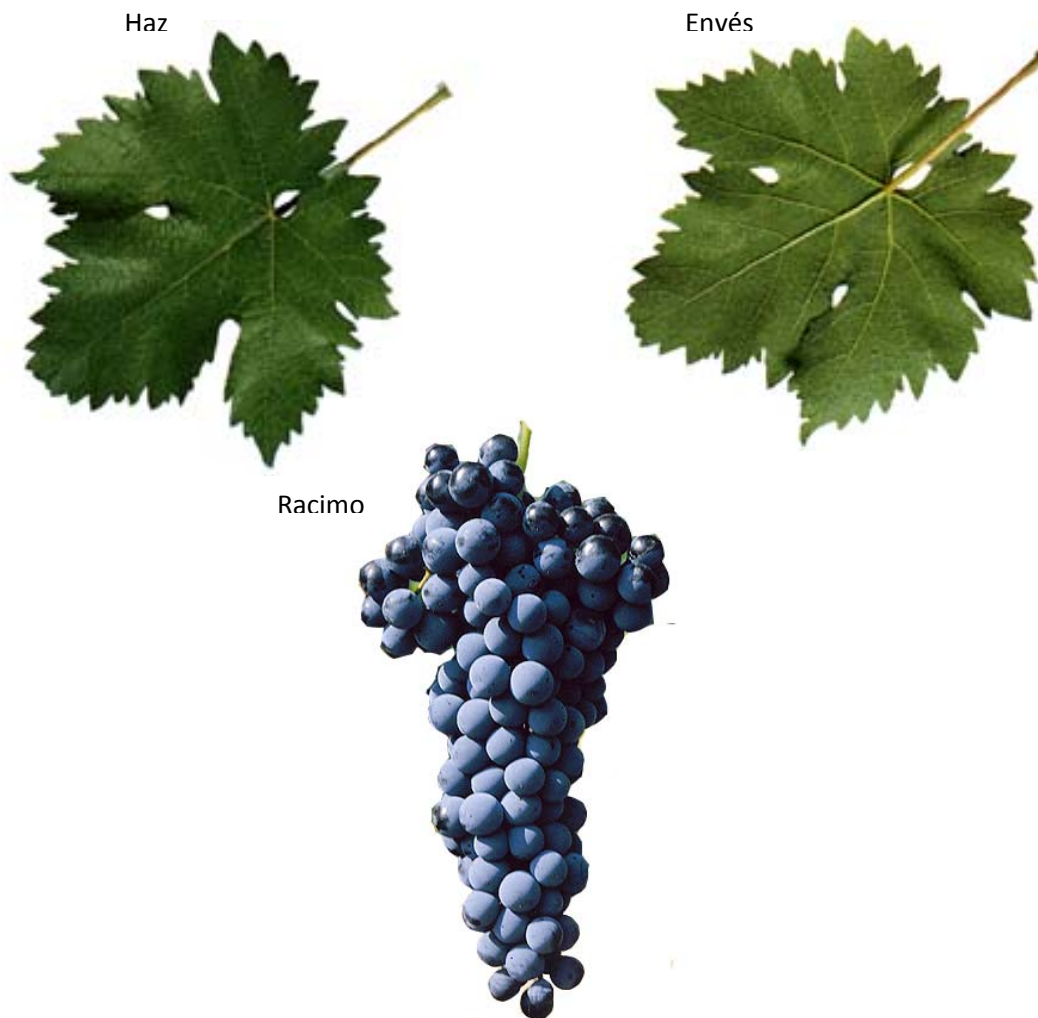
### **Aptitudes**

Es una variedad de desborre medio, florece a finales de primavera, en la primera quincena de Junio. La madurez es temprana.

Se adapta a todo tipo de suelos con preferencia de terrenos orientados al mediodía bien soleados. Las regiones térmicas más adecuadas para su cultivo son la II, III y IV. Es poco sensible a las heladas primaverales pero sí lo es a los vientos cálidos de primavera.

Dependiendo de la zona de cultivo se le practica una poda larga o corta, respetando el equilibrio producción-calidad; y teniendo en cuenta que es una variedad de producción mediana.

Respecto a plagas y enfermedades, es muy sensible al oídio y algo al mildiu y erinosis.



Imágenes de [www.vilaviniteca.es](http://www.vilaviniteca.es)

## ANEJO II

### DATOS DE LA ESTACIÓN



Ubicación: Bardenas Reales, El Plano (MARM)

Latitud: 4684074

Longitud: 622302

Altitud: 425 m

Propiedad de: Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino

Fecha de instalación: 30/10/2003

